

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Návrh a nastavení komunikace mezi digitální elektrickou
ochranou a řídicím systémem

Design and settings of communication between digital
electrical protection and control system

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Hawranek**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 2612T041 Řídicí a informační systémy

Téma: **Návrh a nastavení komunikace mezi digitální elektrickou ochranou
a řídicím systémem**
**Design and Settings of Communication between Digital Electrical
Protection and Control System**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor problematiky inteligentních elektrických ochrann.
2. Rozbor problematiky komunikačních standardů v průmyslové automatizaci.
3. Komunikační standardy pro inteligentní elektrické ochrany.
4. Návrh elektrického zapojení a topologií sítí obsahující inteligentní elektrickou ochranu s využitím PLC a uživatelského rozhraní.
5. Praktická realizace příkladu vybraných elektrických a síťových částí s inteligentními elektrickými ochranami.
6. Testování a zhodnocení výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] MAHALIK, Nitaigour Premchand. (eds.) *Fieldbus technology: industrial network standards for real-time distributed control*. Berlin: Springer, c2003. ISBN 3-540-40183-0.
- [2] MACKAY, Steve. *Practical industrial data networks: design, installation and troubleshooting*. Oxford: Elsevier/Newnes, 2004. ISBN 0-7506-5807-X.
- [3] HÄGER, Ulf, Christian REHTANZ a Nikolai VOROPAI. (eds.) *Monitoring, Control and Protection of Interconnected Power Systems*. 2014th Edition. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2014. ISBN 978-3-642-53848-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Mikolajek**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019



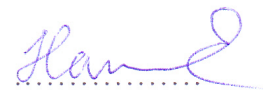

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny podklady a literaturu, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 30. dubna 2019



Podpis studenta

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Martinovi Mikolajkovi za vedení této diplomové práce včetně užitečných rad a konzultací. Dále bych rád poděkoval firmě ABB s.r.o, konkrétně Ing. Lukáši Bartošovi, Ing. Petru Kopečnému a Filipu Kavanovi za poskytnutí potřebných zařízení, odporných znalostí a cenných zkušeností.

Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby

ABB s.r.o.
Vyskočilova 1561/4a
140 00 Praha 4
Česká republika

Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.

Z tohoto souhlasu jsou vyjmuty veškeré části diplomové práce, které obsahují popis produktů, technického řešení, software, hardware a dále pak veškerého know-how a informací, které mohou být takto klasifikovány společnostmi ABB s.r.o, které nejsou veřejně dostupnými informacemi.

S těmito částmi práce, musí být nakládáno jako s neveřejnou částí práce.

V Ostravě dne 22.3.2019

ABB s.r.o.
NOVÁ KAROLINA PARK
28. října 3348/65
702 00 Ostrava
IČ: 49662563
.....
ABB s.r.o.

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem a realizací průmyslové komunikační sítě za účelem výměny dat mezi IED ochranou a řídicím systémem. Záměrem práce bylo vytvoření kompaktní a přehledné úlohy, která bude následně využita jako praktická podpora pro práci s použitými zařízeními i a komunikačním protokolem. V teoretické části se nachází rozbor elektrických ochranných, průmyslové automatizace a prostředků pro realizaci komunikačních sítí v průmyslu. Výsledkem této práce je komunikační systém založený na protokolu IEC 61850, který zprostředkovává výměnu dat mezi ochranou REF615 a PLC AC800M, v obou případech se jedná o zařízení výrobce ABB. Systém obsahuje navíc i operátorské pracoviště pro vzdálené monitorování, ovládání a archivaci naměřených dat skrze OPC Server.

Klíčová slova

Interoperabilita, Ethernet, IED ochrana, PLC, IEC 61850, OPC Server.

Abstract

This work deals with a design and an implementation of the industrial communications network for a purpose of data exchange between the IED protection and the control system. The aim of the work was to create a compact and well-arranged task, which will be subsequently used as a practical support for work with used devices and communication protocol. In the theoretical part there is an analysis of electrical protections, industrial automation and means for implementation of communication networks in industry. The result of this work is a communication system based on the IEC 61850 protocol, which provides data exchange between feeder protection REF615 and PLC AC800M, both equipment is manufactured by ABB. In addition, the system also includes an operator station for remote monitoring, control and archiving of measured data through OPC Server.

Key words

Interoperability, Ethernet, IED protection, PLC, IEC 61850, OPC Server.

Obsah

Seznam použitých zkratk	8
Seznam použitých jednotek	9
Seznam ilustrací	10
Seznam tabulek	12
Úvod	13
1 Přestavení práce	14
2 Elektrické ochrany	15
2.1 Historie elektrických ochran	15
2.2 Základní členy a parametry elektrické ochrany	16
2.3 Základní požadavky na elektrické ochrany	17
2.4 Zásady pro kontrolu funkce ochran	20
2.5 Základní rozdělení elektrických ochran	20
2.6 Druhy elektrických ochran dle způsobu konstrukčního provedení	21
2.7 Digitální elektrické ochrany	22
3 Průmyslová automatizace a komunikace	25
3.1 Průmyslové řídicí systémy na bázi procesoru	25
3.2 Programovatelné logické automaty	26
3.3 Počítačově řízená výroba	26
3.4 Komunikace v průmyslové automatizaci	27
3.5 Referenční ISO-OSI model komunikace	28
3.6 Přístupové metody ke komunikačnímu médium	29
3.7 Standardy pro přenosová média	29
3.8 Přehled nejpoužívanějších průmyslových komunikačních protokolů	31
3.9 Standardy využívané pro komunikační protokoly IED ochran	32
3.10 Standard OPC	35
3.11 Koncept Industry 4.0	36
4 Návrh příkladu průmyslového komunikačního systému	37
4.1 Výběr komunikačního protokolu	37
4.2 Výběr elektrické ochrany	37
4.3 Výběr řídicího systému	38
4.4 Výběr prostředku pro vzdálené ovládání, monitorování a archivaci dat	39
4.5 Logické schéma architektury komunikačního systému	40
4.6 Fyzické schéma architektury komunikačního systému	40
4.7 IP adresace zařízení v síti	41

4.8	Výběr schématu zapojení spínacích prvků	41
4.9	Návrh účelu komunikace mezi REF615 a OPC Serverem	41
4.10	Návrh účelu komunikace mezi REF615 a AC800M	42
5	Konfigurace zařízení a komunikace	43
5.1	Základní konfigurace REF615	44
5.2	Základní konfigurace PLC AC800M	45
5.3	Základní konfigurace pro IEC61850 OPC Server	47
5.4	Konfigurace komunikační sítě	47
5.5	Mapování signálů z komunikace typu GOOSE pro kontrolér AC800M	50
5.6	Mapování signálů z komunikace typu GOOSE pro ochranu REF615	52
5.7	Nastavení alarmů a událostí pro IEC 61850 OPC Server	52
6	Tvorba operátorského pracoviště	55
6.1	Struktura projektu ve vývojovém prostředí 800xA	55
6.2	Mapování signálů z komunikace typu MMS do prostředí 800xA	55
6.3	Mapování alarmů a událostí do prostředí 800xA	56
6.4	Grafická reprezentace alarmů a událostí	57
6.5	Čelní panel uživatelského rozhraní	57
6.6	Uživatelské rozhraní pro komunikaci typu MMS	58
6.7	Přístup z uživatelského rozhraní k vnitřním proměnným PLC AC800M	60
6.8	History Server pro archivaci dat	60
6.9	Uživatelský přístup pro operátory	61
7	Testování	62
7.1	Koncept náhrady PLC AC800M za PLC řady AC500	62
8	Závěr	65
	Literatura	66
	Seznam příloh	68

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Zkrácený výraz	Vysvětlení
ENG	Engineering Workplace	inženýrská stanice
EPA	Enhanced Performance Architecture	Agentura pro ochranu životního prostředí
FBD	Function Block Diagram	grafický jazyk pro tvorbu programů
FDL	Fieldbus Data Link	linková vrstva protokolu Profibus pro přístup ke komunikačnímu médiu
FMS	Fieldbus Message Specification	verze protokolu Profibus pro vyšší úroveň řízení
GOOSE	Generic Object Oriented Substation Events	varianta komunikace v rámci standardu IEC 61850 pro časově kritické události
HDA	Historical Data Access	část protokolu OPC
HDLC	High-Level Data Link Control	synchronní protokol linkové vrstvy ISO/OSI modelu
HMI	Human Machine Interface	rozhraní mezi výrobním procesem a obsluhou
HW	hardware	fyzické vybavení
I/O	input/output	vstupní a výstupní periferie
IEC	International Electrotechnical Commission	Mezinárodní elektrotechnická komise
IED	Intelligent Electronic Device	digitální elektrická ochrana
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	mezinárodní nezisková profesní organizace
IIoT	The industrial internet of things	koncept průmyslové verze internetu věcí
IoT	Internet of things	koncept internetu věcí
ISO/OSI	International Standards Organization / Open Systems Interconnection	referenční model pro tvorbu komunikace
LD	Logical node	logické zařízení ve struktuře dle normy IEC 61850
LED	Light Emitting Diode	světelná dioda
LN	Logical Node	logický uzel ve struktuře dle IEC 61850
LU	Loughborough University	univerzita v Loughborough
MES	Manufacturing Execution System	systémy pro přístup k informacím o výrobním procesu
MMS	Manufacturing Message Specification	varianta komunikace v rámci standardu IEC 61850 pro časově nekritické události
MRP/ERP	Manufacturing/Enterprise Resource Planning	informační systém podniku
NLS	Native Language Support	funkce pro vícejazyčné pojmenování datových aspektů
OLE	Object Linking and Embedding	technologie pro sdílení dokumentů
OPC	Open platform communications	komunikační protokol

Zkratka	Zkrácený výraz	Vysvětlení
OWP	Operation Workplace	operátorská stanice
PA	Process Automotion	verze protokolu Profibus pro aplikaci ve výbušném prostředí
PLC	Programable Logic Controller	programovatelný logický automat
PPP	Point-to-Point Protocol	komunikační protokol linkové vrstvy ISO/OSI modelu
QU	Queen's University	univerzita v Belfastu
RFC	Request For Comments	sada popisující internetové protokoly
RNRP	Redundant Network Routing Protocol	protokol pro redundanci sítí
RTU	Remote Terminal Unit	jednotky pro monitorování vzdálených provozů
SBO	Select Before Operate	metoda pro ovládání z jendoho bodu
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition	systémy pro řízení a monitorování
SCD	Substation Configuration Description	výstupní soubor jazyka SCL
SCL	Substation Configuration Language	standard a jazyk pro konfiguraci zařízení dle standardu IEC 61850
SNTP	Simple Network Time Protocol	protokol pro časovou synchronizaci
SV	Sampled Values	varianta komunikace v rámci standardu IEC 61850 pro přenos okamžitých hodnot napájecího systému
SW	Software	programové vybavení
TCP IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol	sada protokolů pro komunikaci
TP	Twisted Pair	kroucená dvojlinka
UA	Unified Architecture	verze protokolu OPC
UDP	User Datagram Protocol	sada popisující internetové protokoly
μ C	mikrokontrolér	jednodeskový počítač
UET	University of Engineering and Technology	Univerzita v Láhaur
USB	Universal Serial Bus	univerzální sériové rozhraní
VSSUT	Veer Surendra Sai University of Technology	univerzita v Burle
VUT	Vysoké učení technické	univerzita v Brně
VŠB-TU	Vysoká škola báňská - Technická univerzita	univerzita v Ostravě

Seznam použitých jednotek

Zkratka	Zkrácený výraz	Vysvětlení
mA	miliampér	jednotka elektrického proudu
V	volt	jednotka elektrického napětí

Seznam ilustrací

1	Sestavená úloha	14
2	První patentované tavné pojistky Thomase A. Edisona z roku 1864 [2]	15
3	První jističe pro olejové nádrže výrobce Boston Electric Light Company z roku 1898 [3]	16
4	Základní přehled periferií IED ochrany [7]	23
5	Ukázka funkcionality IED ochrany [8]	23
6	Základní blokové schéma architektury modulárního PLC [10]	26
7	Počítačově řízená výroba a úrovně průmyslové komunikační sítě [10, 12]	27
8	IED ochrana REF615 s demo kufrem, výrobcem obou zařízení je ABB	38
9	HW architektura použitého PLC AC800M výrobce ABB	39
10	Komunikační switch DGS-1005D výrobce D-Link	40
11	Logické schéma architektury systému	40
12	Fyzické schéma architektury systému	41
13	Postup realizace příkladu komunikační sítě	43
14	Stromová struktura projektu ve vývojovém prostředí PCM	44
15	Displej ochrany REF615 se schématem soustavy spínacích prvků	45
16	Stromová struktura projektu ve vývojovém prostředí Control Builder	46
17	Datová struktura PLC AC800M ve vývojovém prostředí Control Builder	46
18	Seznam globálních proměnných v aplikaci pro PLC AC800M	47
19	Struktura projektu ve vývojovém prostředí CET600	47
20	Struktura projektu ve vývojovém prostředí IET600	48
21	Seznam datových objektů a datových souborů ve vývojovém prostředí IET600	49
22	Ukázka vkládání atributu o pozici jističe do datového souboru ve vývojovém prostředí IET600	49
23	Přiřazení datových objektů účastníkům komunikace typu IEC 61850-GOOSE	50
24	Přiřazení datových objektů účastníkům komunikace typu IEC 61850-MMS	50
25	Struktura projektu ve vývojovém prostředí Control Builder po nahrání ucelené konfigurace komunikace	51
26	Program v hlavní smyčce PLC AC800M pro blikání LED diod na demo kufru	51
27	Signálová matice příkazů z PLC AC800M do ochrany REF615 ve vývojovém prostředí PCM600	52
28	Bloky pro zachycení alarmů a událostí ve vývojovém prostředí CET	53
29	Struktura projektu s nahranou ucelenou konfigurací komunikace ve vývojovém prostředí CET	53
30	Ukázka z implementace bloku pro alarmy a události z polohy jističe ve vývojovém prostředí CET	54
31	Mapování signálů z ochrany REF615 do vnitřních proměnných v prostředí 800xA	56
32	Ukázka z překladače NLS do češtiny a angličtiny	56
33	Grafická reprezentace alarmů a událostí v prostředí 800xA	57
34	Čelní panel uživatelského rozhraní v prostředí 800xA	58
35	Uživatelské rozhraní pro ovládání ochrany REF615 skrze MMS v prostředí 800xA	59
36	Uživatelské rozhraní s naměřenými veličinami z ochrany REF615 skrze MMS v prostředí 800xA	59
37	Přístup k vnitřním proměnným PLC AC800M z grafického editoru v prostředí 800xA	60

38	Struktura uživatelů v prostředí 800xA	61
39	Použité PLC PM654-T-ETH řady AC500-eCo	63
40	Ukázka mapování signálů z komunikace typu GOOSE do prostředí Automotion Builder . . .	64

Seznam tabulek

1	Přehled nejpoužívanějších průmyslových komunikačních standardů [14]	32
2	Architektura standardu Modbus [13]	33
3	Architektura standardu Profibus [15, 16]	33
4	Architektura standardů IEC60870-5-103 a IEC60870-5-104 [17]	34
5	Architektura standardu DNP 3.0 [18]	34
6	Architektura standardu IEC61850 [19]	35
7	Seznam IP adres v rámci komunikační sítě	41

Úvod

Komunikační technologie v dnešní době stále více a více zasahují do každodenního života. Postupem času významně zefektivnily a zjednodušily průmyslově řízenou výrobu. Požadavky podniků na objemy informací získaných z výrobních provozů se stále zvyšují. V některých případech se tento požadavek vztahuje i na energetické systémy, což představuje ochranu napájení, motorů, generátorů, transformátorů apod. Tyto vymoženosti byly umožněny nástupem nové generace elektrických digitálních ochran přezdívaných IED.

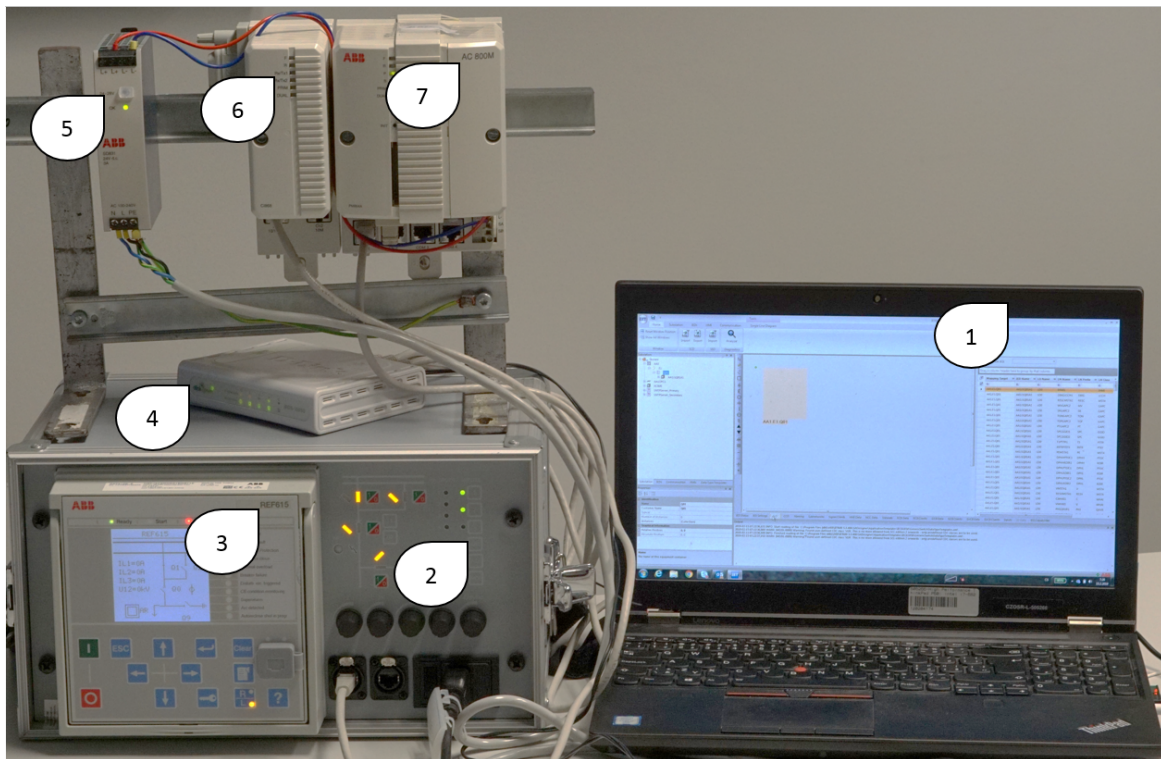
Firma ABB se stejně jako mnoho dalších firem zabývá realizací průmyslových komunikačních sítí zahrnující ochrany energetických systémů. Jedná se o velmi náročnou disciplínu, která vyžaduje odborníky jak z oblasti průmyslové komunikace, tak z oblasti elektrických ochran. Vzájemná spolupráce těchto odborníků umožňuje rozšíření smyslu automatizace do oblasti elektrických ochran.

Realizace výše představené komunikační sítě vyžaduje mimo odborných znalostí také zkušenosti s nemalým množstvím vývojových prostředí pro konfiguraci různých zařízení a vzájemného komunikačního protokolu. Firma ABB se za tímto účelem snaží svým zaměstnancům poskytnout dostatečné množství a rozsah potřebných školení. Pro tento účel se rozdělují podle charakteru zaměření daného zaměstnance a jejich nedostatečný průnik se stal zadáním pro tuto diplomovou práci.

Výsledek této diplomové práce přináší kompaktní a snadno přemístitelnou úlohu, která slouží jako praktická podpora pro několik druhů školení. SW část výstupu obsahuje konfiguraci ochrany REF615 (využití pro konfiguraci ostatních ochran produktové řady Relion) a PLC AC800M výrobce ABB, implementaci komunikačního protokolu IEC 61850 a operátorského pracoviště a nakonec koncept pro výměnu PLC AC800M za levnější variantu AC500. Tento koncept by přinesl zjednodušení implementace komunikační sítě, vzhledem k menšímu počtu potřebných vývojových prostředí, a zároveň snížení pořizovací ceny za řídicí systém.

1 Přestavení práce

Tato diplomová práce pojednává o návrhu a realizaci průmyslové komunikační sítě mezi řídicím systémem a digitální elektrickou ochranou. Její výsledek lze vidět na Obr. 1. Jedná se o síť založenou na komunikačním protokolu IEC 61850. Tato síť přenáší data mezi ochranou REF615 produktové řady Relion a PLC AC800M, v obou případech výrobce ABB, a dále OPC Serverem a jeho klienty.



Obr. 1 – Sestavená úloha

Vysvětlivky k použitým zařízením na Obr. 1:

1. PC výrobce Lenovo: operátorské a inženýrské pracoviště;
2. Demo kufr výrobce ABB: simulátor fyzikálních veličin pro IED ochrany;
3. Ochrana REF615 výrobce ABB: IED ochrana pro chránění napájecích soustav;
4. Switch DGS-1005D výrobce D-Link: Ethernetový komunikační switch;
5. Modul SD831 výrobce ABB: napájecí modul s výstupním napětím 24 V pro PLC AC800M;
6. Modul CI868 výrobce ABB: komunikační interface k PLC AC800M;
7. Modul PM864A výrobce ABB: procesorový modul k PLC AC800M.

2 Elektrické ochrany

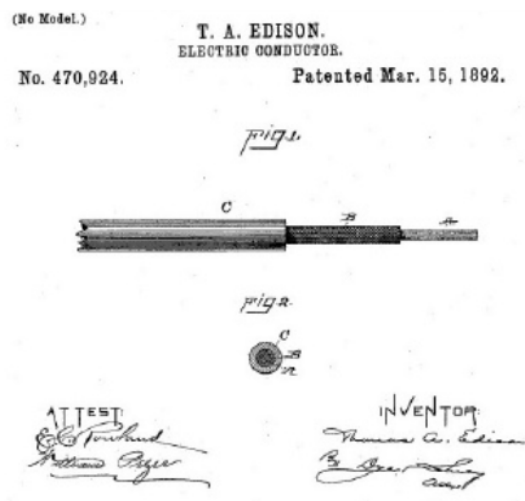
Učební texty Ing. Jindřicha Olšanského [1] popisují elektrické ochrany jako zařízení sloužící ke kontrole a ochraně určitého energetického systému či objektu. Jejich účelem je zajištění provozní bezpečnosti a spolehlivosti jak v normálním stavu, tak v případě poruchy. Pro kontrolu energetických systémů mohou využívat informace získané z přístrojových transformátorů a čidel. Na základě získaných informací musí elektrická ochrana rozlišit, v jakém stavu se chráněný systém nachází.

Stav elektrické ochrany se určuje pomocí tzv. stavové veličiny. Jedná se o fyzikální veličinu, která charakterizuje současné chování chráněného objektu. Stavovou veličinou může být napětí, proud, frekvence, teplota aj. Překročí-li hodnota stavové veličiny meze normálního provozu, vzniká nebezpečí pro chráněný objekt. Takovým nebezpečím může být mimořádný provozní stav nebo porucha. Elektrická ochrana se může nacházet v jednom ze tří stavů: [1]

- **Normální provozní stav:** ochrana měří, ale nereaguje na změny stavových veličin;
- **Mimořádný provozní stav:** ochrana měří a signalizuje překročení stavové veličiny;
- **Poruchový stav:** ochrana měří a dochází k odpojení chráněného objektu.

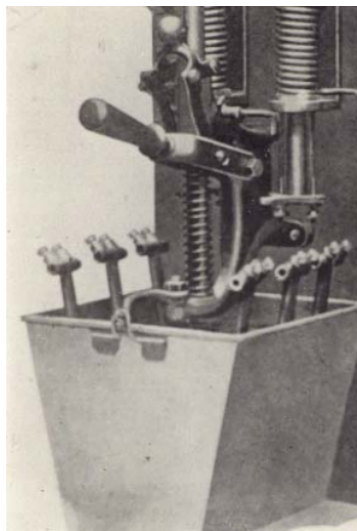
2.1 Historie elektrických ochran

První formou elektrické ochrany byla ochrana nadproudová a byla realizována pomocí porcelánové krabice a snadno tavitelného materiálu, který byl součástí chráněného elektrického obvodu. Toto zařízení se ve svých počátcích nazývalo ve volném překladu tavným vypínačem (v angličtině: fusible cut-out). Různé variace těchto tavných vypínačů byly využívány k ochraně telegrafních kabelů a osvětlovacích zařízení již v roce 1864. Až v roce 1890 bylo toto zařízení patentováno Thomasem A. Edisonem jako součást jeho distribuční soustavy a poprvé bylo nazváno jako tavná pojistka. Tento název se dochoval dodnes. Čerpané historii elektrických ochran se věnuje ve své práci David A. Dini, P.E. z organizace Underwriters Laboratories [2].



Obr. 2 – První patentované tavné pojistky Thomase A. Edisona z roku 1864 [2]

Až do roku 1898 byly tavné pojistky jediným prostředkem pro nadproudovou ochranu. V tomto roce firma Boston Electric Light Company (později Boston Edison) instalovala první jistič pro olejové nádrže, jak popisuje ve své práci Jeffrey H. Nelson P.E. [3], člen institutu IEEE.



Obr. 3 – První jističe pro olejové nádrže výrobce Boston Electric Light Company z roku 1898 [3]

2.2 Základní členy a parametry elektrické ochrany

Základní členy elektrické ochrany:

Složení elektrické ochrany se může lišit v závislosti na její funkcionalitě. Text níže je věnován základnímu přehledu členů elektrické ochrany. Není však podmínkou, že daná ochrana obsahuje všechny uvedené členy. Ve své bakalářské práci uvádí Jiří Hudec z VUT v Brně [4] základní členy elektrické ochrany následujícím způsobem:

a) Vstupní člen

- převod vstupního signálu na zpracovatelný tvar (jednotky V a mA), tím umožňuje miniaturizaci ostatních členů.

b) Rozběhový člen

- obsažen v každé ochraně;
- uvádí do činnosti měřicí a logický člen při vzniku poruchy;
- požadavek na velkou citlivost pro sledovanou veličinu, což určuje míru spolehlivosti.

c) Měřicí člen

- vyhodnocuje stav chráněného objektu;
- na tomto členu je závislá selektivita, citlivost a přesnost ochrany;

- může pracovat jako amplitudový nebo fázový komparátor.

d) **Logický člen**

- zpracovává logický signál z rozběhového členu;
- určuje funkci měřicího členu;
- na základě měřicího členu určuje funkci koncového členu;
- provedení: relé, diody, tranzistory, integrované obvody, mikroprocesory.

e) **Časový člen**

- prodlužuje dobu působení ochrany;
- zajišťuje selektivitu, zabraňuje chybné zapůsobení ochrany a akumulaci energie v objektu.

f) **Koncový člen**

- úprava přicházejícího signálu ke schopnosti předání ovládacím zařízením;
- provedení: nejčastěji elektromagnetické relé.

g) **Napájecí člen**

- napájí dílčí části ochrany, které vyžadují pomocný zdroj energie.

Základní parametry elektrické ochrany:

Chování elektrické ochrany lze popsat několika parametry. Jak uvádí ve svých učebních textech Ing. Stanislav Mišák, Ph.D. z VŠB-TU v Ostravě [5], výstup elektrické ochrany je definován vztahem:

$$v(t) = F[y(t), n] \quad (2.1)$$

- kde n je parametr ochrany (soubor konstant, kterými lze nastavit algoritmus ochrany);
 $v(t)$ je vstup ochrany (vektor popisující měřený výstup chráněného objektu a určuje stav chráněného objektu);
 $y(t)$ je výstup ochrany (soubor veličin, kterými ochrana působí na chráněný objekt, jedná se o funkci vstupu a parametru ochrany);
 F je relace ochrany (vektorová funkce vstupu a parametru ochrany).

2.3 Základní požadavky na elektrické ochrany

Elektrické ochrany jsou navrhovány a umístěny v energetických systémech tak, aby předcházely překročení mezí normálního provozu a zabránily tak vzniku škod na majetku či ohrožení osob. Každý typ ochrany musí proto splňovat následující podmínky: [1, 4]

- rychle a spolehlivě určit poruchu nebo překročení meze normálního provozu chráněného objektu;
- provést vypnutí v dostatečně krátkém čase tak, aby nedošlo ke vzniku škody na chráněném objektu;

- zabránit rozšíření poruchy na ostatní prvky energetického systému (selektivita);
- při návrhu rozsahu oblasti chráněné ochranou nesmí vzniknout nechráněný úsek a zároveň se tato oblast musí částečně překrývat s oblastmi okolními (zálohování).

Spolehlivost funkce

Spolehlivost funkce elektrické ochrany je definována jako schopnost vykonávat operace podle daného algoritmu elektrické ochrany ve stanoveném čase s požadovanými parametry a splnit všechny technické podmínky z pohledu chráněného systému. Příklady zajištění spolehlivosti funkce elektrické ochrany: [1, 4]

- vysoká technická kvalita všech použitých komponent;
- optimální konstrukce schématu chránění (např. redundance);
- nepřetržitá automatická kontrola jednotlivých obvodů a funkčních částí ochrany.

Selektivita

Selektivitou elektrické ochrany se rozumí schopnost vypnout pouze poškozenou část energetického systému tak, aby ostatní zařízení bez poruchy zůstala nadále nerušeně v provozu. Příklady zajištění selektivity funkce elektrické ochrany: [1, 4]

- časové odstupňování reakce elektrických ochranných od místa poruchy;
- amplitudové a fázové porovnávání proudů na obou koncích chráněného úseku (rozdílové a porovnávací ochrany);
- určení směru toku výkonu během poruchy na obou koncích chráněného úseku;
- kombinace předchozích za účelem snížení vypínacích časů.

Rychlost působení

Rychlost působení elektrické ochrany je definována jako doba od identifikace poruchy až do vyslání vypínacího impulsu. Hodnota této rychlosti je závislá na technickém vybavení a provedení dané ochrany, dále u digitálních ochranných na použitém výpočtovém programu. Spolehlivá identifikace poruchy v některých případech vyžaduje pomalejší reakci ochrany, například u přetížení. Naopak u zkratů je snaha zajistit vypnutí co nejdříve, aby se předešlo škodám na majetku a vzniku nebezpečí úrazu elektrickým proudem. Doby působení elektrických ochranných: [1, 4]

- pro elektromechanické ochrany: 40 - 60 ms;
- pro elektronické ochrany: 10 - 60 ms;
- pro digitální ochrany: 40 - 50 ms.

Citlivost

Citlivost elektrické ochrany představuje minimální hodnotu stavové veličiny, při které elektrická ochrana spolehlivě působí. Tímto lze na poruchy reagovat i bez významného narušení normálního provozu. Pro zaručení bezpečnosti je elektrická ochrana nastavena na nižší hodnotu stavové veličiny, než jaká je její hodnota při poruchovém stavu. Existují však případy, kdy je vyžadována necitlivost elektrické ochrany: [1, 4]

- přechodné jevy v energetickém systému;
- poruchy mimo sledovanou zónu energetického systému (pro elektronické ochrany).

Přesnost

Přesnost elektrické ochrany je závislá na nastavené citlivosti ochrany, její skutečné citlivosti a rozsahem nastavitelných hodnot, jak popisuje vztah 2.2. [1, 4]

$$p = \frac{x - x_b}{x_a} \cdot 100 [\%] \quad (2.2)$$

kde p ... přesnost elektrické ochrany;
 x nastavitelná citlivost ochrany;
 x_a rozsah možného nastavení ochrany;
 x_b skutečná citlivost ochrany.

Zálohování

Energetický systém je z pohledu elektrických ochran rozdělena na samostatné oblasti. Všechny tyto oblasti musí být vybaveny ochranou, která při poruše či překročení mezí normálního provozu zajistí rychlé a selektivní vypnutí. Takové ochrany jsou nazývány jako hlavní ochrany. V případě selhání hlavní ochrany musí být zajištěno vypnutí poruchy pomocí ochrany záložní. Každá ochrana musí být zálohována. Zajištění zálohování ochran je stejně důležité, jako zajištění chránění hlavní ochranou. Záložní ochrany lze rozdělit na dva druhy: [1, 4]

a) Místní

- odlišný princip ochrany než ochrana hlavní;
- samostatné napájení pomocným napětím a samostatný vypínací obvod;
- jiný měřicí bod měřené veličiny.

b) Vzdálené

- stejný princip ochrany i charakteristika jako ochrana hlavní;
- působí ve svém úseku jako hlavní, v následujícím jako záložní.

2.4 Zásady pro kontrolu funkce ochran

Po návrhu ochrany pro dané zařízení následuje kontrola nastavení této ochrany. Jedná se o prověření působení ochrany při poruše a jde o potvrzení, zda reaguje správně, či ne. Vyhodnocování působení ochran se provádí za pomoci údajů o působení ochran a schématu oblasti působení při poruchovém stavu až po zdroj napájení. V případě nevyhovujících výsledků je nutné hledat příčinu chybného působení. Mezi základní příčiny chybného působení patří: [5, 1, 4]

- vadná ochrana;
- špatně navržená logika ochran;
- nevhodná charakteristika ochrany;
- obloukový zkrat;
- přesycení měřicích transformátorů.

Kontrola plánu nastavení ochran je nutná po každé změně v koncepci napájení, čímž může být také záměna typu přístroje.

2.5 Základní rozdělení elektrických ochran

Za účelem dostatečně rychlého a spolehlivého určení poruchy či překročení mezí normálního provozu je třeba brát v potaz následující parametry:[5, 1, 4]

- zjištění typu chráněného objektu a důvodu k jeho ochraně;
- zjištění parametrů chráněného objektu;
- určení charakteristiky chráněného objektu;
- specifikace mezí normálního provozu, jeho překročení a poruchy;
- zvolení vhodného rozsahu měření;
- návrh vhodné logiky vypínání;
- výběr vhodné ochrany.

Při výběru vhodné elektrické ochrany lze elektrické ochrany rozlišovat na základě různých hledisek, podle kterých se výše uvedené parametry mohou odlišovat:

- Podle chráněného objektu:** generátor, motor, transformátor, přípojnice, vedení, speciální.
- Podle druhu poruchy:** zkratové, nadfrekvenční, podfrekvenční, proti přetížení, při zemním spojení, podpětové, nadpětové, při zpětném toku výkonu, při ztrátě buzení, při nesouměrnosti.
- Podle doby působení:** mžikové, časově závislé, časově nezávislé, časově polozávislé.

- d) **Podle konstrukce:** elektromechanické, elektronické, digitální.
- e) **Podle funkčního principu:** proudové, napěťové, distanční, rozdílové, srovnávací, wattové, jalové, frekvenční, při nesouměrnosti.

2.6 Druhy elektrických ochrany dle způsobu konstrukčního provedení

Elektrické ochrany se liší podle jejich fyzikálního principu funkcionality. Text níže je věnován rozdělení a srovnání mezi elektrickými ochranami podle fyzikálního principu: [4]

a) **Elektromechanické:**

Elektromechanické ochrany jsou historicky nejstarší analogové elektrické ochrany. Každá elektromechanická ochrana je řešena tak, že vykonává pouze jednu funkci. Tyto ochrany jsou složeny z jistících relé, která mohou spolupracovat elektricky i mechanicky. Podle principu činnosti se proto dělí na:

- elektromagnetické;
- jednosměrné;
- elektrodynamické;
- indukční;
- polarizační.

b) **Elektronické:**

Elektronické ochrany pracují na bázi integrovaných obvodů (polovodiče). Jsou sestaveny z funkčních jednotek a neobsahují žádné pohyblivé části. Elektronické ochrany jsou také nazývány jako statické ochrany. V porovnání s elektromagnetickými ochranami nabízejí elektronické ochrany několik výhod i nevýhod: [4]

- **výhody:**
 - kratší operační časy;
 - vyšší přesnost;
 - lepší adaptace charakteristik k potřebám chráněného objektu;
 - nižší požadavky na údržbu;
 - možnost realizace složitějších algoritmů;
 - absencí mechanických částí má nižší vlastní spotřebu.
- **nevýhody:**
 - polovodiče jsou méně odolné proti indukovanému napětí při poruchách silnoproudých zařízení;
 - teplotní stabilizace elektronických obvodů;
 - nutnost napájení pro elektronické obvody;
 - vysoká citlivost a rychlost působení může vyvolat zapůsobení ochrany na rušivé jevy během provozního stavu.

c) **Digitální:**

Integrace mikroprocesorů do elektrických ochrany zlepšila schopnosti elektrických ochrany, např.: spolehlivost, přesnost, uživatelský komfort, komplexnější zpracování dat, atd. Níže následuje srovnání nejmarkantnějších výhod a nevýhod digitálních ochrany ve srovnání s analogovými. [4, 5]

- **výhody:**

- automatická kontrola ochrany (prodloužení intervalu mezi ručně prováděnými revizemi);
- schopnost plnit více úloh najednou;
- monitorování;
- ovládání a řízení provozu energetického systému a jejich prvků v reálném čase.

- **nevýhody:**

- nutnost napájení pro elektronické obvody (stejně jako elektronické ochrany).

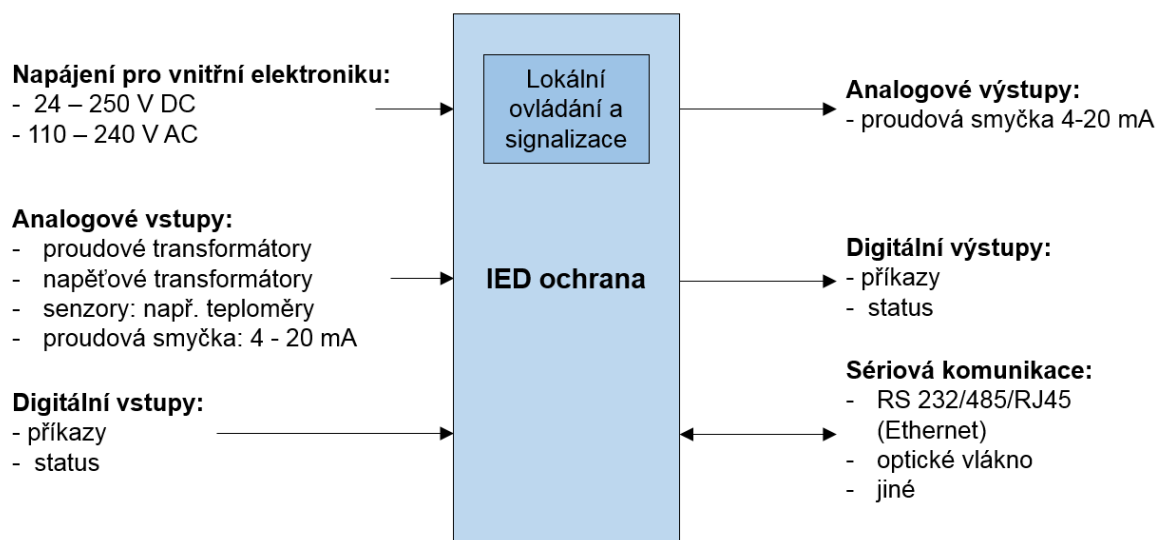
2.7 Digitální elektrické ochrany

Rostoucí složitost energetických systémů začala postupně ovlivňovat i složitost použitých zařízení včetně elektrických ochrany. Rozvoj komunikačních technologií a technologie mikroprocesorů umožnil značnou změnu pohledu na funkcionalitu elektrických ochrany. Informace získané v oblasti digitálních elektrických ochrany byly čerpány z akademické práce Raheela Muzzammela z UET v Láhaur [6], příspěvku na webové stránce www.svri.nl od Hanse Stutvoeta [7] a akademické práce od autorů Ching-Lai Hor z LU v Leicestershire a Peter A. Crossley z QU v Belfastu [8].

Digitální elektrické ochrany jsou často zmiňovány jako IED (z angličtiny: *Intelligent Electronic Devices*). Tato zařízení však neobsahují žádné optimalizační ani znalostní systémy, proto nejsou dále v textu zmiňovány jako inteligentní, nýbrž pouze pod uvedenou zkratkou. Jedná se o elektrické ochrany, které využitím technologií komunikace a mikroprocesorů umožňují sběr dat a řízení v reálném čase, a to z různých míst. IED ochrana je svým technickým vybavením schopna hlásit časově kritické události, neboť obsahuje synchronizaci reálného času. Dále obsahuje monitorování vlastního a externího elektrického obvodu. Jak již bylo zmíněno, IED ochrana rozšiřuje možnosti vzdáleného a místního ovládání a sběru dat pro použití v síťové analýze, kde za použití komunikačních technologií lze realizovat i komplexní změny v energetickém systému automaticky a vše najednou. [6, 8]

Základní popis IED ochrany

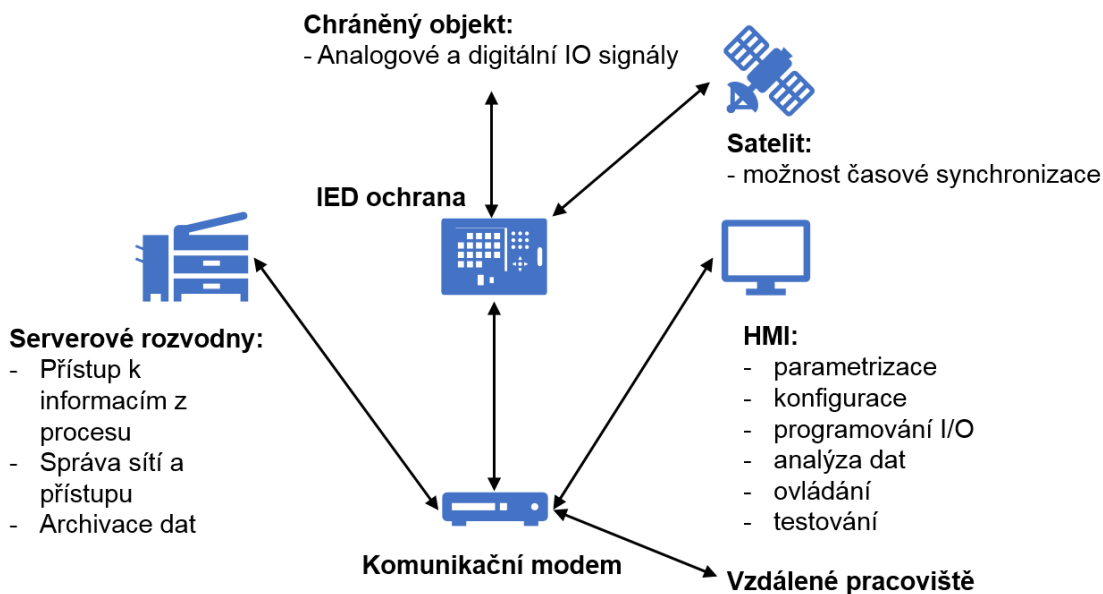
IED je komplexní zařízení obsahující různé periferie pro napájení, měření, ovládání a komunikaci. Přehled základních periférií lze vidět na Obr. 4. [7]



Obr. 4 – Základní přehled periférií IED ochrany [7]

Funkcionalita IED ochrany

Svým technickým vybavením se IED ochrany staly tzv. očima a ušima energetických systémů. Vzhledem jejich rozšířené funkcionalitě umožňují daleko lépe pochopit a předpovídat pochody v energetických systémech. Tato vymoženost zvyšuje spolehlivost a efektivitu systému a snižuje náklady na řešení mimořádných provozních stavů a poruch. Přehled všech funkcionalit IED ochran se nachází na Obr. 5. [7, 8]



Obr. 5 – Ukázka funkcionality IED ochrany [8]

Na Obr. 5 lze vidět funkcionalitu a obecné využití IED ochrany, která je zde součástí komunikační sítě. Funkcionalita se v základu skládá z pěti následujících členů:

- **Měření fyzikálních veličin**

Jedná se o bloky, jež jsou zároveň základem pro ochranné funkční bloky. Jedná se o měření napájecího napětí, fáze napětí a proudu, proudu nulových vodičem, zbytkového napětí, frekvence, výkonu, účinníku, teploty, vyšších harmonických složek a záznamů měřených veličin během událostí a alarmových stavů. Některé typy IED ochran obsahují navíc převodníky s programovatelným výstupem.

- **Ochrana**

Ochranu zajišťují ochranné funkce k ochraně motorů, generátorů, transformátorů, kabelů a vedení.

- **Ovládací funkce a logika**

IED ochrana obsahuje řídicí algoritmy a logiku pro regulaci napětí, ovládání polohy jističů, apod.

- **Monitorování**

Další funkcí je kontrola lokální (vnitřní) logiky včetně kontroly napájení, kontrola ztráty analogového snímaného vstupu, kontrola vypínacího obvodu, záznam událostí a alarmových stavů, atd.

- **Sériová komunikace**

Podpora komunikačních protokolů: Modbus RTU a Modbus TCP, Profibus, IEC 61850, aj.

Celkový přehled a rozbor protokolů (včetně odpovídajících standardů) podporovaných IED ochranami je uveden v kapitole 3.9.

3 Průmyslová automatizace a komunikace

Pojem automatizace je charakterizován jako samočinné řízení a ovládání strojů, výrobních linek a procesů. Základem automatizace je teorie automatického řízení, která je složena z matematických a inženýrských návrhových metod. Dále jsou zde využity výpočetní a komunikační techniky a technologie elektroniky, což umožňuje realizaci sběru dat z řízeného systému včetně jejich zpracování a ovládání v podobě generování akčních zásahů. Podrobnější informace ohledně problematiky průmyslové automatizace lze nalézt v čerpaných zdrojích, kterými jsou výukové texty doc. Ing. Jiřího Koziora a kol. z VŠB-TU v Ostravě [9, 10] a habilitační práce prof. Ing. Františka Zezulky, Csc. z VUT v Brně [11].

Samotný zrod automatizace i jeho další rozvoj směřuje ke zvýšení výkonu a efektivity výroby, dále také k optimalizaci spotřeby materiálu a energií. V dnešní době je princip automatizace uplatněn nejen v průmyslu, ale také u domácích spotřebičů, spotřební elektroniky, zemědělství apod. [9, 10, 11]

Pro dosažení spolehlivé a bezobslužné výroby musí automatizované průmyslové systémy plnit i funkce bezpečnostní a diagnostické. Řídící systémy jsou proto vybaveny různými snímači pro intuitivní rozpoznání nebezpečné či poruchové události. Mezi takové události patří např. hrozící požár, přehřátí motorů, zaplavení objektů, únik nebezpečného plynu, a další. Technická diagnostika celého automatizovaného systému napomáhá ke zvýšení jeho bezpečnosti a ke snížení škod vzniklých při poruše. [9, 10, 11]

3.1 Průmyslové řídicí systémy na bázi procesoru

V průmyslové automatizaci jsou řídicí systémy nejčastěji postaveny na bázi procesoru. Existují však i případy, ve kterých se začíná uplatňovat technologie hradlových polí, což však není předmětem této práce. Mezi základní systémy na bázi procesoru v rámci průmyslové automatizace jsou: [10]

- **Osobní počítače**

Používají se jako standardní vybavení dispečerských pracovišť v automatizovaných systémech. Mohou vykonávat servis, monitorování a dokumentaci průběhu technologického procesu, sledování kvality a spotřeby energie a materiálu. V některých případech vykonávají funkci přímého řízení, kdy jsou tyto počítače umístěny přímo v technologii. Jejich použití je však limitováno kratší životností, nižší spolehlivostí a větší citlivostí na rušení a přepětí.

- **Průmyslové počítače**

Konstrukce těchto počítačů je na rozdíl od osobních počítačů přizpůsobena průmyslovým podmínkám. Používají se pro přímé řízení různých technologií, jako operátorské panely nebo komunikační adaptéry.

- **Jednodeskové počítače a mikrokontroléry**

Tyto systémy jsou založeny na bázi mikroprocesorů. Díky svým rozměrům a technickým vybavením se využívají zejména pro vestavěné systémy strojů, přístrojů a jiných elektronických zařízení.

- **Programovatelné logické automaty**

PLC jsou průmyslové řídicí systémy konstruované pro řešení automatizačních úloh v reálném čase. Jejich přední výhodou je spolehlivost řízení i při náročných podmínkách. Konstrukční provedení PLC může být kompaktní (jeden modul) nebo modulární (složen z více modulů).

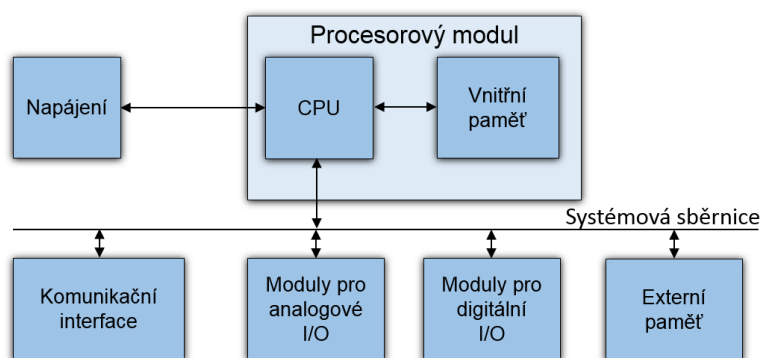
- **Speciální procesorové systémy**

Jedná se o víceprocesorové systémy pro paralelní zpracování řídicích úloh. Využívají se při vysokých nárocích na rychlost zpracování.

3.2 Programovatelné logické automaty

Jak již bylo zmíněno v textu výše, PLC jsou řídicí systémy na bázi procesoru a jsou přizpůsobeny pro průmyslové a technologické úlohy. První nasazení PLC systémů bylo určeno pro logické řízení jako náhrada reléové logiky, což vedlo především ke zjednodušení instrumentace a další rekonfigurace.

Na Obr. 6 lze vidět ukázkou architektury PLC v modulárním provedení, která obsahuje základní prvky PLC systému. Jednotlivé prvky jsou společně propojeny systémovou sběrnicí. [10]

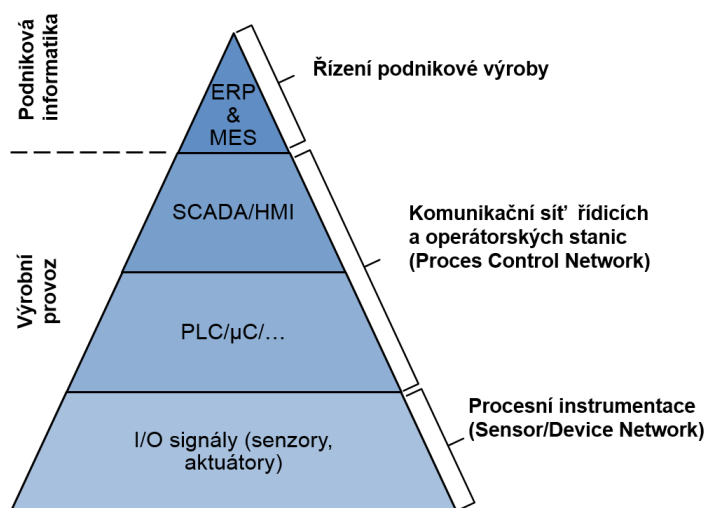


Obr. 6 – Základní blokové schéma architektury modulárního PLC [10]

S vývojem technologií začaly PLC systémy plnit i funkce regulace, analogového měření, monitorování a komunikace. Dnešní PLC systémy jsou schopny komunikovat s dalšími PLC systémy, vyšší vrstvou řízení či jinými zařízeními obsahující komunikační rozhraní. Podmínkou pro společnou komunikaci mezi těmito zařízeními je, aby použitá zařízení podporovala společný komunikační protokol.[10, 11]

3.3 Počítačově řízená výroba

V průmyslové automatizaci jsou často vytvářeny komplexní systémy sestávajícího se z většího počtu řídicích systémů. Nazývají se distribuované řídicí systémy. V těchto systémech dochází ke vzdálené komunikaci mezi jednotlivými subsystemy, které se mohou nacházet na různě vzdálených místech. Distribuované řídicí systémy jsou obvykle napojeny na podnikové servery a jejich uživatelé, kteří tak mohou celý proces výroby nejen monitorovat, ale i řídit. Takový způsob řízení výroby je označován jako počítačově řízená výroba. Její základní strukturu lze vidět na Obr. 7. Uvedená struktura čerpá z učebních textů doc. Ing. Jiřího Koziorka a doc. Ing. Štěpána Ožany, Ph.D. z VŠB-TU v Ostravě [10, 12].



Obr. 7 – Počítačově řízená výroba a úrovně průmyslové komunikační sítě [10, 12]

Vysvětlivky k pojmům na Obr. 7:

- **MRP/ERP:** informační systém, který integruje a automatizuje činnosti podniku;
- **MES:** tvoří vazbu mezi podnikovými informačními systémy a systémy pro automatizaci (řízení kvality, analýza výkonnosti, krátkodobé plánování výroby);
- **SCADA/HMI a PLC/μC...** : automatické funkce bez přímé účasti člověka (zpětnovazební řízení, optimalizace, alarmy, zobrazování);
- **I/O:** měření fyzikálních veličin, ovládání zařízení, realizace bezpečnostních funkcí.

3.4 Komunikace v průmyslové automatizaci

Rozvoj distribuovaným řídicích systémů přinesl i značný rozvoj komunikačních sběrnic. Důvodem byla narůstající složitost kabeláže, s čímž je spojena její cena za pořízení a montáž. Informace o rozvoji komunikace v průmyslové automatizaci byly čerpány z bakalářské práce Ing. Daniela Mertlíka z VUT v Brně [13].

V oblasti průmyslové automatizace existuje několik druhů komunikačních sítí v závislosti na hierarchickém postavení v počítačově řízené výrobě, jak lze vidět na Obr. 7. Informace o standardech a technologiích pro tvorbu průmyslových komunikačních sběrnic popisuje ve své akademické práci Dr. Nitaigour Premchand Mahalik z VSSUT v Burle [14]. Níže uvedené pojmy blíže seznamují s jednotlivými úrovněmi průmyslové komunikační sítě:

- **Enterprise Network:** síť určené ke komunikaci podnikových sítí s výrobním provozem;
- **Process Control Network:** síť určené ke komunikaci mezi řídicími systémy;
- **Device Network:** síť určené k procesní instrumentaci;
- **Sensor Network:** síť určené k diskrétní komunikaci.

Komunikační standardy pro průmyslové aplikace se začaly rozvíjet již v 80. letech minulého století. V mnohých případech přicházela každá firma s vlastním řešením. Komunikace napříč řídicími systémy různých výrobců začala být více a více problematická. Tuto potřebu nakonec paradoxně uspokojilo využití protokolu TCP/IP, který byl primárně určen pro obor informačních technologií. Aplikace protokolu TCP/IP umožnil další nárůst přenosových rychlostí. [13, 14]

Pojem Fieldbus je užíván jako obecný název pro průmyslové komunikační sběrnice. Text níže popisuje tři možnosti aplikace sběrnic Fieldbus. Některé sběrnice jsou aplikovatelné pro více typů současně. [14]

- **Proces bus:** komplexní sběrnice pro průmyslovou automatizaci, představují komunikační páteř mezi řídicími systémy, operátorskými stanicemi a vyššími vrstvami řízení;
- **Device bus:** sběrnice bytové, přenáší sdržené datové rámce, přenos informací z více zařízení s diskrétními I/O najednou, konfigurace akčních členů a senzorů;
- **Sensor Bus:** sběrnice bitové neboli diskrétní, využívají se k přenosu diskrétních signálů mezi řídicím systémem a zařízeními s diskrétními I/O (např. senzory, aktuátory, motorové spouštěče, atd.).

3.5 Referenční ISO-OSI model komunikace

Referenční ISO-OSI model představuje soubor pravidel pro komunikaci mezi otevřenými systémy a od roku 1984 je souhrnně popsán v normě ISO 7498. Referenční ISO-OSI model obsahuje sedm vrstev. Mezi komunikačními partnery mezi sebou jednotlivé úrovně vrstev komunikují pomocí virtuálních spojů. Reálné spojení je uskutečněno pouze na vrstvě fyzické. Součástí každé vrstvy je soubor vlastních služeb a soubor pravidel pro řízení komunikace mezi účastníky přenosu. Níže je uveden popis jednotlivých vrstev ISO/OSI modelu. [10]

- **Fyzická vrstva:** reálné spojení dvou komunikačních uzlů, různé provedení (metalické, optické, radiofrekvenční, ultrazvukové, a jiné), dále řeší úroveň signálů, frekvence, kabely a konektory;
- **Linková vrstva:** zajišťuje přenos bitových rámců: řízení přístupu ke komunikačnímu médium, fyzické adresování, realizace toku dat, detekce a korekce chyb;
- **Síťová vrstva:** zajišťuje přenos datových paketů od zdroje k cíli, řeší směrování (routing), tj. musí znát topologii sítě;
- **Transportní vrstva:** koncové řízení komunikace, rozdělování a skládání segmentů zpráv (tzv. pakety);
- **Relační vrstva:** navazuje, udržuje a ukončuje relace, organizuje a synchronizuje dialog mezi účastníky komunikace;
- **Prezentační:** převody formátu dat v závislosti na požadavcích komunikačních partnerů, komprese a šifrování dat, mění strukturu dat bez ohledu na jejich význam;
- **Aplikační vrstva:** rozhraní mezi komunikačním kanálem a koncovou aplikací, obsahuje mechanismy pro předávání a formátování zpráv.

3.6 Přístupové metody ke komunikačnímu médiu

V případech, kdy komunikační síť tvoří více než dvě zařízení, je nutné zajistit, aby nedocházelo k přeslechům a ztrátě informace. V rámci komunikačního ISO-OSI modelu jsou metody přístupu ke komunikačnímu médiu součástí linkové vrstvy. Z pohledu provozu na síti existuje několik režimů vysílání a přijímání dat: [10]

- **Unicast:** jedno zařízení vysílá a jedno přijímá;
- **Broadcast:** jedno zařízení vysílá a ostatní přijímají;
- **Multicast:** jedno zařízení vysílá a pouze některá přijímají.

Pro přístup ke komunikačnímu médiu existují v základu dvě metody:

- **Deterministický:** Každé zařízení má pro komunikaci přidělený časový interval.
 - Centralizovaný: pořadí určuje server (např. metoda Master-Slave);
 - Decentralizovaný: pořadí je dáno fyzickým popř. logickým uspořádáním uzlů (např. metoda Token ring).
- **Náhodný:** Každé zařízení v síti může kdykoliv přistupovat ke komunikačnímu médiu.
 - Aloha: nesleduje provoz na síti, dostává potvrzení o v případě přijetí zprávy;
 - Metoda CSMA a její modifikace: poslouchá provoz na síti, značně redukuje kolize, může také obsahovat detekci kolizí.

3.7 Standardy pro přenosová média

Přenos dat ve fyzické vrstvě přenosu lze specifikovat různými kritérii. Body níže představují pohled na základní z nich: [9]

- podle realizace přenosu dat: sériový a paralelní;
- podle synchronizace: synchronní a asynchronní;
- podle rozdělení přenosového kanálu: časový a frekvenční multiplex;
- dle směru šíření signálu: simplexní (jedním směrem), poloduplexní (oba směry, ne však současně) a plně duplexní (oba směry současně).

Pro tvorbu komunikačních sítí v rámci průmyslové automatizace jsou využívány převážně sběrnice sériové, asynchronní a časově multiplexované. To znamená, že tyto sběrnice přenášejí signál postupně bit po bitu jedním kanálem, bez synchronizace hodinovým signálem a v pevně vymezeném časovém intervalu. V textu níže jsou rozebrány standardy pro přenosová média, která jsou aplikována v průmyslových komunikačních sítích: [9, 13]

RS-232 (dnes EIA-232-C)

Až do nástupu rozhraní USB sloužilo rozhraní RS-232 převážně pro připojení periférií k osobním počítačům. V dnešní době jsou rozhraní RS-232 a jeho modifikace využity jako fyzické vrstvy některých komunikačních sítí aplikovaných v průmyslové automatizaci. Toto rozhraní přenáší inverzně kódovanou zprávu pomocí nesy-metrického signálu, tzn. signálovým a nulovým vodičem. Základními typy zapojení jsou: přímé propojení, nulový modem se vzájemným potvrzováním (7 vodičů) a nulový modem bez potvrzování (3 vodiče).

- Kvantifikovatelné parametry:
 - komunikace pouze mezi dvěma zařízeními;
 - maximální rychlost sběrnice: 19200 Bd.s^{-1} při délce kabelu 15 m;
 - maximální délka kabelu: 900 m při rychlosti 2400 Bd.s^{-1} .

RS-422/RS-423 (dnes EIA-422/EIA-423)

Jedná se o modifikace rozhraní RS-232 pro zvýšení přenosové rychlosti a maximální délky přenosového média. Sběrnice RS-423 je nesymetrická (obdobně jako RS-232). Oproti tomu sběrnice RS-422 přenáší diferenciálně kódovanou zprávu pomocí symetrického signálu, tzn. dvěma signálovými vodiči.

- Kvantifikovatelné parametry:
 - maximální počet zařízení: 10 (1 vysílač a 10 přijímačů);
 - maximální rychlost sběrnice RS-422: 10 Mb.s^{-1} při délce kabelu 10 m;
 - maximální délka sběrnice RS-422: 1000 m při rychlosti 100 kbit.s^{-1} ;
 - maximální rychlost sběrnice RS-423: 300 kb.s^{-1} při délce kabelu 10 m;
 - maximální délka sběrnice RS-423: 1000 m při rychlosti 3 kbit.s^{-1} .

RS-485 (dnes EIA-485)

Rozhraní RS-485 je další modifikací rozhraní RS-232 a je určeno pro vícebodovou komunikaci. Jedná se o sběrnici symetrickou a lze ji realizovat jedním nebo dvěma páry signálových vodičů. To znamená, že standard RS-485 podporuje poloduplexní i plně duplexní komunikaci. Sběrnici lze doplnit o referenční vodič, tj. signálovou zem.

- Kvantifikovatelné parametry:
 - až 32 přijímačů a 32 vysílačů;
 - maximální rychlost sběrnice: 10 MBd.s^{-1} při délce kabelu 10 m;
 - maximální délka kabelu: 1200 m při rychlosti 100 kBd.s^{-1} .

USB

Sériové rozhraní USB je dnes nejpoužívanější rozhraní osobních počítačů za účelem připojení periferií. Sběrnice USB obsahuje 2 datové a 2 napájecí vodiče. Existují tři verze tohoto rozhraní, a to: USB 1.1, USB 2.0 a USB 3.0.

- Kvantifikovatelné parametry:
 - maximální rychlost sběrnice: USB 1.1: 12 Mbit.s^{-1} USB 2.0: 480 Mbit.s^{-1} , USB 3.0: 5 Gbit.s^{-1} ;
 - maximální délka kabelu: 5 m;
 - pro připojení více zařízení na jeden port slouží tzv. huby (rozbočovače).

Fyzické vrstvy Ethernetu

Fyzických vrstev pro Ethernet existuje celá řada, a to s různými přenosovými rychlostmi a typy přenosového média. Pro realizaci fyzických a linkových vrstev Ethernetu slouží standardy IEEE 802.3 a ISO 8802-3. Adresování zařízení v síti Ethernet lze dnes realizovat dvěma způsoby: IPv4 (32b) a IPv6 (128b). Nicméně rozsah použitelných adres v síti nemůže být až 2^{32} popř. 2^{128} z důvodu rezervace určitých adres pro jiné potřeby protokolu a směrování (routing).

- Fyzické vrstvy podle přenosové kapacity:
 - 10 Mbit.s^{-1} : 10Base-5, 10Base-2, 10BaseT, 10Base-FL;
 - 100 Mbit.s^{-1} : 100Base-TX, 100Base-T4, 100Base-FX;
 - 1 Gbit.s^{-1} : 1000Base-SX, 1000Base-LX, 1000Base-T;
 - 10 Gbit.s^{-1} : 10GBase-SR, 10GBBase-LR, 10GBBase-T.

3.8 Přehled nejpoužívanějších průmyslových komunikačních protokolů

Portfólio dnešních standardů pro tvorbu komunikačních sítí typu Fieldbus je velmi rozmanité. Z důvodu odlišných standardizačních organizací napříč státy a kontinenty (např ISO, EN, IEEE) existuje více standardů zabývajících se specifikací stejného protokolu popř. jeho části. Přehled nejčastěji používaných komunikačních protokolů pro tvorbu sítí typu Fieldbus se nachází v Tab. 1. V této tabulce lze nalézt i příklady standardů vázaných k těmto protokolům. [14]

Tab. 1 – Přehled nejpoužívanějších průmyslových komunikačních standardů [14]

Protokol	Standard
Foundation Fieldbus	IEC 61158 a IEC 61784
Profibus	
Profinet	
P-Net	
ControlNet	
Ethernet/IP	
DeviceNet	
WorldFIP	
Interbus	
EtherCAT	
HART	
Modbus	
CAN	ISO 11898-1
AS-i	IEC 62026-2
IEC 61850	IEC 61850
IEC 60870-5	IEC 60870-5
DNP 3.0	IEE 1815

3.9 Standardy využívané pro komunikační protokoly IED ochran

Následující text obsahuje základní informace a architektury komunikačních protokolů, které jsou podporovány IED ochranami. Tato podpora představuje interoperabilitu mezi IED zařízeními a druhými stranami komunikace.

Modbus

Modbus je otevřený sériový komunikační protokol vyvinutý společností Modicon (dnes součástí společnosti Schneider Electric) pro komunikaci s PLC zařízeními. Pro přístup ke komunikačnímu médiumu využívá metodu Master - Slave, kde síť vždy obsahuje jedno zařízení typu Master a až 247 zařízení typu Slave. V rámci počítačově řízené výroby popsané v kapitole 3.3 bývá Modbus aplikován pro síť typu Device Network a Process Control Network. Pro komunikaci s IED ochranami existují varianty protokolů Modbus RTU a Modbus TCP. Architektura standardu Modbus se nachází v Tab. 2. [13]

Tab. 2 – Architektura standardu Modbus [13]

Vrstva	Modbus - RTU/ASCII	Modbus Plus	Modbus - TCP
7	Aplikační vrstva pro Modbus		
6	-	-	-
5	-	-	-
4	-	-	TCP (RFC 793)
3	-	-	IP
2	Master/Slave	HDLC	Ethernet
1	RS232/RS-485	RS-485	

Profibus

Architektura sítě Profibus počítá jednak s připojením k malým zařízením na jedné straně a současně vytváří otevřené rozhraní pro komunikaci různých automatizačních zařízení. Použití rozhraní Profibus spadá do všech oblastí automatizace. Je vhodný pro časově kritické aplikace i pro komplexní komunikační úlohy. Na linkové vrstvě definuje mechanismus přístupu účastníka komunikace na přenosové médium (token passing, masterslave) a zabezpečuje tvorbu bitového řetězce včetně kontrolních částí. Architektura standardu Profibus je uvedena v Tab. 3. Informace o tomto komunikačním protokolu byly čerpány z již zmíněných výukových materiálů doc. Ing. Jiřího Koziorka a kol. z VŠB-TU v Ostravě [10] a dále norem IEC 61158 a IEC 61784 [15, 16].

Tab. 3 – Architektura standardu Profibus [15, 16]

Vrstva	Profibus FMS	Profibus DP	Profibus PA
		Základní a rozšířené funkce DP	
7	FMS	-	-
6	-	-	-
5	-	-	-
4	-	-	-
3	-	-	-
2	FDL: Master-Slave, Token Passing		IEC Interface
1	RS-485/Optické vlákno		IEC 1158-2

IEC 60870-5

IEC 60870 je souhrnné označení skupiny norem s názvem: Systémy a zařízení pro dálkové ovládání. Její pátá část normy se zabývá komunikačními protokoly a vychází z modelu master-slave. Skládá se z několika částí, kde části 103 a 104 obsahují protokoly využívané IED ochranami. Tyto protokoly jsou známé svou interoperabilitou a jejich architekturu lze nalézt v Tab. 4. Informace o těchto komunikačních protokolech byly čerpány z diplomové práce Ing. Dominika Pekárka z VUT v Brně [17].

- **IEC 60870-5-103:** Přenosové protokoly, společná norma pro informační rozhraní ochran. Zaměřuje se na interoperabilitu mezi ochranami a řídicími systémy.

- **IEC 60870-5-104:** Přenosové protokoly, síťový přístup pro IEC 60870-5-101 používající normalizované transportní profily. Stanovuje a doporučuje použití dat v běžných komunikačních sítích, neřeší však mechanismy přenosu dat, ty jsou popsány v části IEC 60870-5-101.

Tab. 4 – Architektura standardů IEC60870-5-103 a IEC60870-5-104 [17]

Vrstva	IEC 60870-5-103	IEC60870-5-104	
7	IEC60870-5-5,IEC60870-5-4		
6	-	-	-
5	-	-	-
4	-	TCP (RFC 793)	
3	-	IP(RFC 791)	
2	IEC60870-5-1,2,3	PPP (RFC1661 a RFC1662)	RFC 894
1	RS232/RS-485/Optické vlákno	X.21	Ethernet

DNP 3.0

Komunikační protokol DNP 3.0 zajišťuje komunikaci mezi vzdálenými stanicemi (RTU, IED, aj.) a řídicími systémy. Z pohledu přístupu ke komunikačnímu médiumu lze realizovat protokol DNP 3.0 formou Master - Slave i Token Passing. Mezi jejich přednostmi patří robustnost, interoperabilita a efektivita. Architekturu protokolu DNP 3.0 lze vidět v Tab. 5. V dnešní podobě je tato architektura přebrána od architektury EPA vydaného Mezinárodní elektrotechnickou komisí IEC. Informace o komunikačním protokolu DNP 3.0 byly čerpány z diplomové práce Ing. Radima Studeného z VUT v Brně [18].

Tab. 5 – Architektura standardu DNP 3.0 [18]

Vrstva	DNP 3.0	
7	DNP V3.0 Objektová knihovna dat, DNP V3.0 Aplikační vrstva	
6	-	
5	-	
4	DNP V3.0 Transport Functions	DNP V3.0 Transport Functions DNP V3.00 Data Link Layer TCP, UDP
3	-	IP
2	DNP V3.00 Data Link Layer IEC 60870-5-2 IEC 60870-5-1	Ethernet (IEEE 802.3)
1	RS-232, RS-422, RS-485	

IEC 61850

Soubor norem IEC 61850 specifikuje univerzální metody a protokoly pro komunikaci v oblasti energetiky a automatizace. Tento standard plně definuje strukturu datových modelů a pravidla komunikace, což představuje velmi snadnou a nezávislou komunikaci mezi zařízeními různých výrobců. Vzhledem využití rozhraní Ethernet jsou zařízení podporující standard IEC 61850 jednoduše integrovatelné do komunikační infrastruktury a zároveň značně redukuje množství použité kabeláže.

IEC 61850 definuje v základu tři typy komunikačních protokolů. Prvním typem je protokol pro mezis-taniční komunikaci. Jedná se o protokol MMS (definován normami ISO 9506-1 a ISO 9506-2) a zajišťuje výměnu informací mezi řídicími a ostatními stanicemi s komunikačním rozhraním (např. IED ochrana). Je realizován skrze rozhraní Ethernet a komunikační protokol TCP/IP. Komunikace mezi zařízeními zde probíhá formou klient-server. Řídicí stanice představuje klienta a IED server. Metoda MMS je zpravidla určena pro časově nekritickou komunikaci.

Naopak pro časově kritickou komunikaci slouží metody GOOSE a SV, které jsou definovány přímo ve standardu IEC 61850. Metoda GOOSE je prostředkem pro šíření informace o vzniku časově kritické události. Metoda SV slouží pro vysokorychlostní přenos digitalizovaných okamžitých hodnot veličin napájecího systému. Obě tyto metody šíří zprávu v podobě multicast nebo broadcast. Komunikace na síti probíhá formou producent-konzument. Producent vytváří událost a odesílá časově kritická data všem svým konzumentům současně. Popsané informace o tomto komunikačním protokolu byly čerpány z normy IEC 61850 [19].

Tab. 6 – Architektura standardu IEC61850 [19]

Vrstva	SV	GOOSE	Time Sync	Klient - Server
7	-	-	-	MMS
6	-	-	-	
5	-	-	-	
4	-	-	UDP	TCP (RFC 793)
3	-	-	IP(RFC 791)	
2	Ethernet			
1	Ethernet - fyzická vrstva (TP, koaxiální/optický kabel)			

3.10 Standard OPC

OPC je standard, jehož cílem je zajistit výměnu dat v průmyslových odvětvích mezi zařízeními různých výrobců. Tento standard byl poprvé vydán v roce 1996, kdy současně vznikla nezisková organizace OPC Foundation, aby tento standard spravovala. V tomto roce představovala zkratka OPC: "OLE for Process Control". Vlivem uspokojení vyšším potřeb pro zabezpečení, modelování a přenos dat nabyla zmíněná zkratka v roce 2011 nového významu: "Open Platform Communications". OPC standard představuje specifikaci vytvořenou výrobcí a koncovými uživateli v oblasti průmyslu. Tyto specifikace definují rozhraní mezi účastníky komunikace v podobě klient-server. Umožňují přístup k aktuálním i historickým informacím či monitorování alarmů a událostí. Informace o architektuře standardu OPC uvádí na svých webových stránkách organizace OPC Foundation [20]. V základu existují dvě varianty architektury OPC:

a) **OPC Classic**

OPC Classic je založen na technologiích vyvinutých společností Microsoft, a to OLE COM a DCOM, které poskytují metody pro výměnu dat mezi aplikacemi. Skládá se z několika protokolů, jimiž jsou v základu DA, AE, HDA, XML DA a DX. Každý z těchto protokolů je plně soběstačný pro zápis i čtení, a zároveň neovlivňuje ostatní protokoly. Níže uvedený text blíže seznamuje s těmito základními protokoly:

- DA: obsahuje název, aktuální hodnotu, časové razítko a kvalitu přenosu dané informace;
- AE: neobsahuje aktuální hodnotu, název ani kvalitu informace, pouze časové razítko, všechny alarmy a události jsou dostupné všem klientům a po přenosu dat jsou ze serveru vymazány;
- HDA: umožňuje nahrávání a přístup k větším obsahům dat.

b) **OPC UA**

OPC UA je nezávislý na použité metodě OLE COM/DCOM, čímž je dostupný pro implementaci na různých platformách (Apple, Linux či Windows). Další výhodou této architektury oproti jeho předchůdci je možnost tvorby datových modelů a struktur seskupením dostupných informací, což zjednodušuje řízení a údržbu výrobního procesu. Architektura OPC UA je plně kompatibilní s architekturou OPC Classic.

3.11 Koncept Industry 4.0

V současné době nejen v oblasti průmyslové automatizace narůstá potřeba komunikace mezi jednotlivými segmenty i samotnými zařízeními v rámci větších řetězců. Se snahou získávat, sdílet a zpracovávat vyšší objemy dat vznikl koncept IoT pro digitalizaci a integraci rozsáhlých systémů. Poprvé tento termín zazněl v roce 2013 na veletrhu v Hannoveru. IoT představuje síť, která umožňuje univerzální komunikaci mezi různými typy zařízení (nejen řídicí systémy) na této síti. Aplikace IoT v průmyslové automatizaci je nazývána jako IIoT nebo také Industry 4.0. V rámci monitorování a řízení průmyslové výroby lze tímto dosáhnout daleko vyššího detailu, efektivity a rychlosti porozumění pochodů uvnitř systému během provozu. S konceptem Industry 4.0 seznamuje článek prof. Ing. Františka Zezulky, Csc. a kol. na webové stránce System Online [21].

Do systému odpovídajícího konceptu Industry 4.0 lze zahrnout také IED ochrany. Jak již bylo popsáno v kapitole 2, IED ochrany poskytují oproti klasickým analogovým ochranám široké spektrum informací, a to v relativně krátkém čase a na delší vzdálenosti s možností vzdáleného ovládání. Vzhledem k podporovaným komunikačním protokolům lze IED ochrany snadno začlenit do lokálních sítí.

4 Návrh příkladu průmyslového komunikačního systému

Tato kapitola se zabývá návrhem celé komunikační struktury. Na počátku je rozebrán výběr HW prvků a SW prostředků s nimi souvisejících. Následně je rozebrán návrh logické a fyzické architektury komunikačního systému. V posledním kroku byl stanoven a specifikován účel komunikace, a to jednotlivě pro oba zvolené typy komunikace.

4.1 Výběr komunikačního protokolu

Za účelem návrhu a realizace komunikace pro příklad průmyslové komunikační sítě byl vybrán standard IEC 61850. Tento standard umožňuje interoperabilitu mezi použitými zařízeními, snadnou integraci do komunikační infrastruktury a redukci množství použité kabeláže. Oproti ostatním zmíněným interoperabilním protokolům DNP3.0 a IEC 60870-5-104 obsahuje následující prvky:

- komunikace a služby v reálném čase (protokoly GOOSE a SV);
- samoobslužné rutiny;
- informační modely;
- vlastní jazyk a zároveň normou specifikovaný formát konfigurace zařízení (SCL);

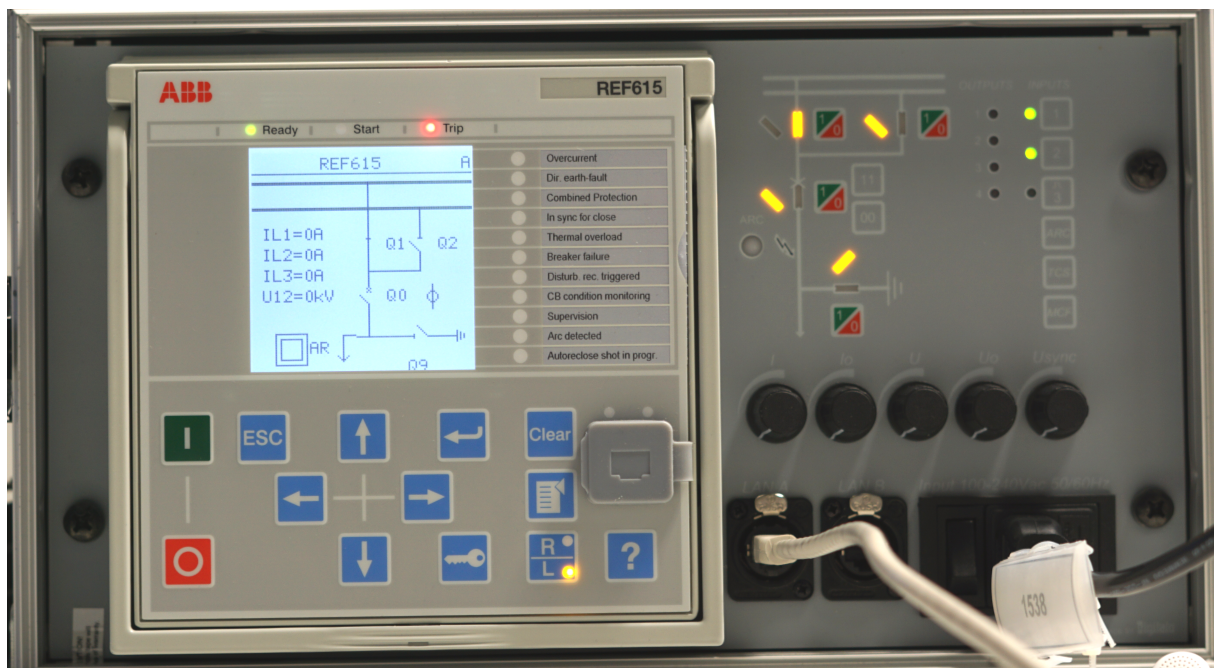
Architektura systému navržená pro síť IEC 61850 je níže popsána v kapitole 4.5.

4.2 Výběr elektrické ochrany

Při výběru IED ochrany pro tuto práci bylo přihlédnuto k dosavadním znalostem a technické podpoře k prostředí PCM600. Jedná se o prostředí, které bylo vyvinuto pro konfiguraci IED ochran z produktové řady Relion výrobce ABB. Produkty této řady slouží pro měření, ochranu, ovládání a monitorování napájecích sítí. Prostor PCM i produktová řada Relion podporují standard IEC 61850.

Produkty řady Relion se liší v závislosti na místě jejich použití. Mezi nejznámější produkty této řady patří ochrany REF (ochrana napájení), REG (ochrana generátorů), REM (ochrana motorů), a další. Vzhledem k tomu, že záměr práce nespočívá v charakteru chráněného objektu, byl jako chráněný objekt použit simulační demo kufr výrobce ABB, který obsahuje simulaci fyzikálních veličin. Jedná se o zařízení vyrobené na zakázku a zároveň neobsahuje žádné výrobní ani sériové číslo. Toto zařízení však nebylo vyrobeno v souvislosti s touto prací. Použitý simulační demo kufr byl konstruován za účelem testování konfigurace ochran napájecích sítí zmíněné produktové řady Relion, jak dokládá vlastní schéma spínacích prvků tohoto kufru viditelné na Obr. 8. Svým kompaktním provedením, jednoduchostí ovládání a elektrickou bezpečností vzhledem k hodnotám simulovaných veličin usnadňuje proces návrhu i ladění komunikační sítě.

Vzhledem ke konstrukci demo kufru byla ze zmíněné produktové řady Relion pro tuto práci vybrána ochrana REF615. Slouží pro chránění, ovládání, měření a monitorování vývodů v energetických systémech. Používá se především pro chránění venkovních vedení a kabelových vývodů v distribučních sítích. Lze je také použít pro záložní chránění v aplikacích, kde je požadován nezávislý a redundantní systém ochran. Náhled na ochranu REF615 připojenou do simulačního demo kufru lze vidět na Obr. 8.



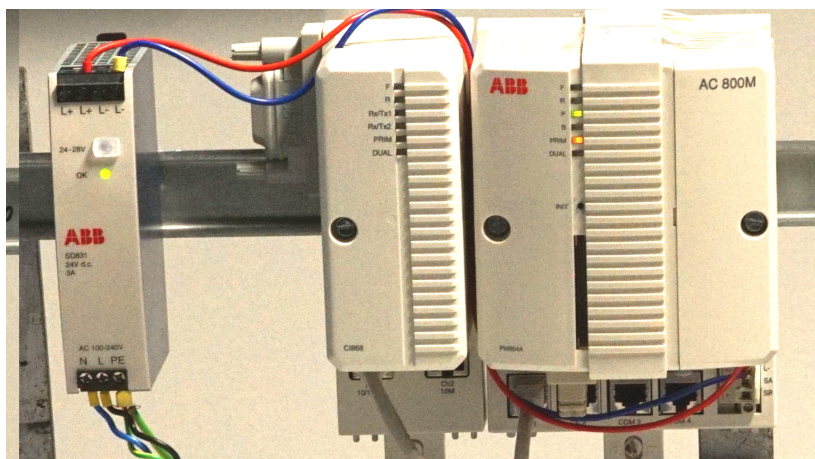
Obr. 8 – IED ochrana REF615 s demo kufrem, výrobcem obou zařízení je ABB

4.3 Výběr řídicího systému

Na základě zvoleného komunikačního protokolu a IED ochrany byl proveden výběr vhodného řídicího systému, a to s ohledem na dostatečnou technickou podporu a dosavadní zkušenosti. Výsledkem výběru byly PLC AC800M a AC500, v obou případech výrobce ABB.

PLC AC800M je modulární a flexibilní řídicí systém. Jeho nejvýraznější přednosti jsou komunikace s třetími stranami a redundance (RNRP protokol). Naopak jeho největší nevýhodou je vysoká cena. V době realizace této práce již bylo toto PLC využíváno ve společných aplikacích s ochranou REF615 a je také součástí výsledné komunikační struktury. Pro konfiguraci a implementaci PLC AC800M bylo využito prostředí Control Builder, které je pro toto zařízení dedikované. Celkovou HW architekturu PLC AC800M lze vidět na Obr. 9. Skládá z následujících modulů, kde každý z nich je komponentou výrobce ABB:

- procesorová modul: PM864;
- komunikační interface: CI868;
- napájecí modul 24V: SD831.



Obr. 9 – HW architektura použitého PLC AC800M výrobce ABB

Vzhledem k vysoké ceně HW architektury PLC AC800M obsahuje tato práce koncept náhrady tohoto PLC za PLC AC500, které ve srovnání představuje devadesátiprocentní úsporu nákladů za řídicí systém. Z pohledu spolehlivosti a vybavení jsou obě PLC srovnatelné. PLC AC500 však nepotřebuje komunikační interface, neboť pro veškerou komunikaci využívá rozhraní umístěné přímo na CPU modulu. Konfigurace a implementace PLC AC500 probíhá v prostředí Automotion Builder. V lednu 2019 vyšlo pro toto prostředí nové rozšíření AB 2.1.2 s podporou standardu IEC 61850. Práce s prostředím Automotion Builder za účelem uskutečnění komunikace mezi PLC AC500 a ochranou REF615 je rozepsána v kapitole 7.1.

4.4 Výběr prostředku pro vzdálené ovládání, monitorování a archivaci dat

Společným prostředkem pro vzdálené ovládání, monitorování a archivaci dat byl vybrán produkt IEC 61850 OPC Server. Tento SW nástroj umožňuje sjednotit všechna procesní data na jednom místě, odkud jsou přístupna všem oprávněným uživatelům. Tímto bylo možné realizovat univerzální SCADA systém, který je nezávislý na případné různorodosti výrobců zařízení. IEC 61850 OPC Server zahrnuje tyto níže uvedené funkce:

- OPC DA;
- OPC AE;
- IEC 61850: modelování dat;
- IEC 61850: přenos dat;
- Záznamy událostí (Disturbance Recorder);
- časová synchronizace (SNTP);
- a jiné.

Další informace a detail na konfiguraci IEC 61850 OPC Serveru se nachází v kapitole 5.3 a 5.7.

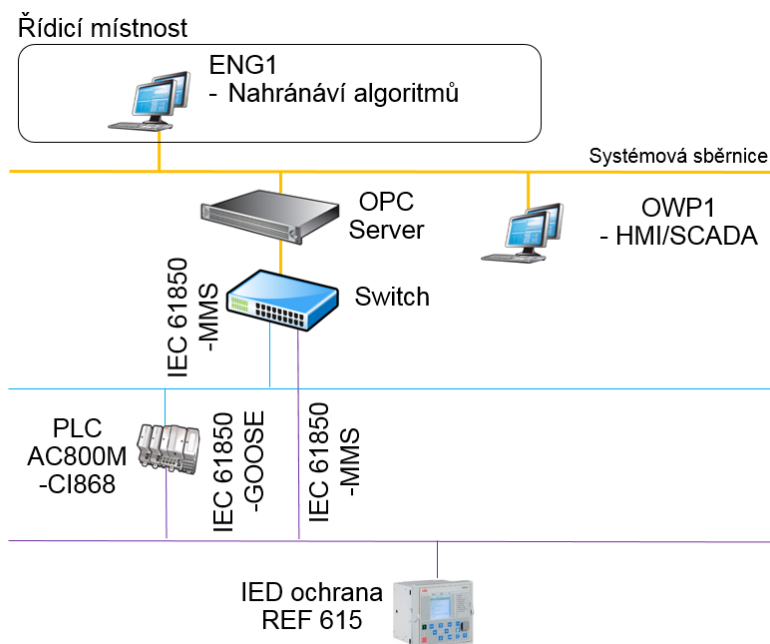
4.5 Logické schéma architektury komunikačního systému

Kromě výše představených zařízení jsou součástí architektury systému i osobní počítač a komunikační switch DGS-1005D výrobce D-Link, jehož výběr byl proveden s ohledem na dostupnost, požadavky a pořizovací cenu. Detail tohoto switche lze vidět na Obr. 10.



Obr. 10 – Komunikační switch DGS-1005D výrobce D-Link

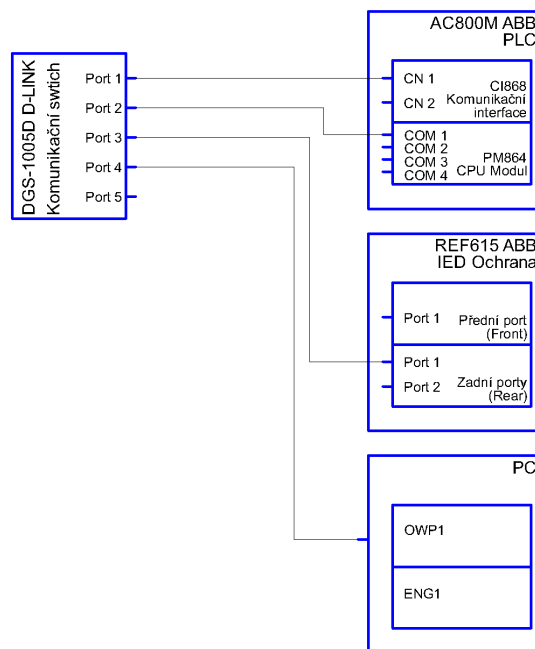
Osobní počítač reprezentuje operátorské pracoviště OWP1 a inženýrského pracoviště ENG1. Pro účely testování byla tato pracoviště sloučena do jednoho počítače. Nahrávání konfiguračních a aplikačních souborů zajišťuje pracoviště ENG1. Pro OPC Server a OPC Klienty (HMI/SCADA) slouží pracoviště OWP1, které je spuštěno na virtuální ploše. Tato plocha je včetně autorizace přizpůsobena pro následnou aplikaci do průmyslových počítačů.



Obr. 11 – Logické schéma architektury systému

4.6 Fyzické schéma architektury komunikačního systému

Fyzické schéma skutečného zapojení sítě se oproti logickému schématu značně liší, jak lze vidět na Obr. 12. Použitá zařízení jsou do komunikačního switche zapojena do hvězdy.



Obr. 12 – Fyzické schéma architektury systému

4.7 IP adresace zařízení v síti

Tab. 7 – Seznam IP adres v rámci komunikační sítě

Název zařízení	Druh/typ zařízení	IP adresa	Maska podsítě
REF615	IED ochrana	10.0.0.100	255.255.255.0
OWP1	Operátor	10.0.0.181	255.255.255.0
ENG1	Programátor	10.0.0.191	255.255.255.0
PM864	Kontrolér	10.0.0.1	255.255.255.0
CI868-CN1	Komunikační karta	10.0.0.2	255.255.252.0

4.8 Výběr schématu zapojení spínacích prvků

Pro konfiguraci IED ochrany bylo nutné navrhnout schéma zapojení soustavy spínacích prvků. V této práci bylo využito schématické zapojení demo kufru, které lze vidět na Obr. 8. Použité odpojovače zde nejsou ovládány mechanicky, jak je tomu během reálném použití, nýbrž elektronicky. Charakter ovládání odpojovačů je popsán v kapitolách 4.10 a 4.9.

4.9 Návrh účelu komunikace mezi REF615 a OPC Serverem

Komunikace mezi ochranou REF615 a OPC Serverem byla realizována protokolem IEC 61850 MMS, kde IED ochrana představuje server a OPC Server představuje klienta. Získaná data OPC Serverem dále putují

k operátorům a jiným účastníkům sítě. Zde však OPC Server představuje server a ostatní uživatelé klienty. Smyslem této komunikace je vytvoření univerzálního uživatelského rozhraní pro monitorování, ovládání a archivaci dat.

Vzdálené ovládání spínacích prvků je v případě komunikace typu MMS realizována ve shodě s ovládáním na panelu demo kufru, s výjimkou simulace hodnot napětí, proudu a blesku.

4.10 Návrh účelu komunikace mezi REF615 a AC800M

Komunikační protokol IEC 61850 GOOSE byl určen pro výměnu informací mezi ochranou REF615 a PLC AC800M. Tento typ komunikace je zde upřednostněn z důvodu rychlejší komunikace oproti komunikaci typu MMS, neboť před zahájením přenosu dat neprobíhá dotazování na server.

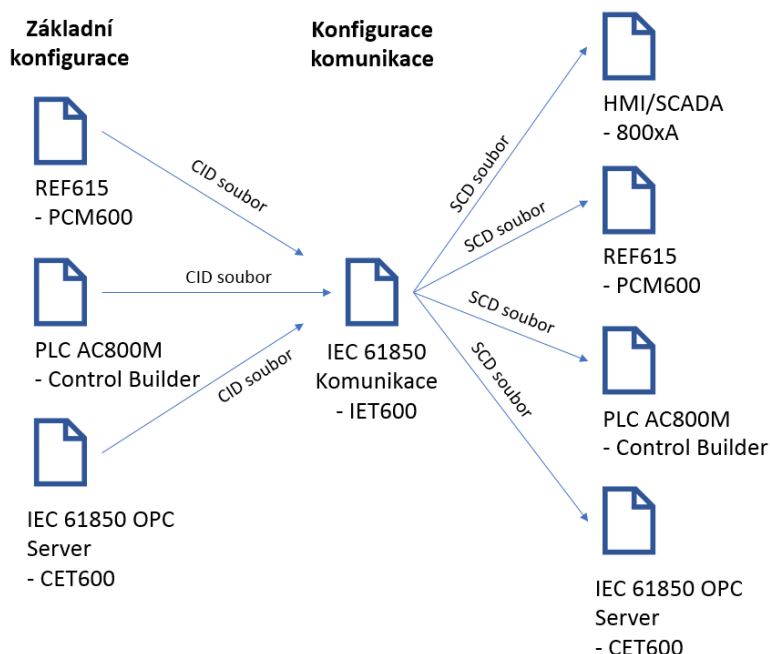
Vzhledem k tomu, že navržená architektura neobsahuje žádná zařízení na úrovni procesní instrumentace, jsou všechny akční zásahy ze strany PLC na ochranu realizovány jako operátorské a jsou řízené z uživatelského rozhraní. Tyto zásahy jsou implementovány jako nucené držení odpojovačů a jističe v určité poloze. Pro aplikaci to nabízí možnost nuceného držení spínacích prvků chráněné soustavy, pokud je tato skutečnost vyhodnocena v souvislosti se zařízeními připojenými k PLC (např. snímače). Z prvků pro vzdálené ovládání typem komunikace GOOSE byl vyřazen uzemňovač, neboť to neumožnil rozsah řídicích příkazů v signálové matici ochrany REF615. Tato problematika je rozebrána v kapitole 5.6.

Nucené držení určitého stavu spínacích prvků je pro rozlišitelnost a přehlednost signalizováno na panelu uživatelského rozhraní. Další informace o uživatelském rozhraní se nachází v kapitole 6.

5 Konfigurace zařízení a komunikace

V této kapitole se nachází ucelený postup konfigurace celého systému. V prvním kroku bylo nutné vytvořit základní konfigurační soubory všech účastníků komunikace. V tomto případě se to týká ochrany REF615, PLC AC800M a dále také IEC 61850 OPC Serveru. Dalším krokem bylo sloučení těchto dílčích konfigurací a následná konfigurace komunikační sítě a specifikace předávaných zpráv. Tato ucelená konfigurace komunikace se poté nahrála zpět do všech zmíněných komunikačních účastníků. Posledním krokem pro dokončení komunikace bylo mapování signálů z komunikace do vnitřních proměnných použitých zařízení a vývojových prostředí.

Uvedený postup tvorby komunikace bylo nutné dodržet, neboť každý účastník komunikace v síti IEC 61850 musí znát konfiguraci ostatních účastníků pro úspěšný a tím velmi zjednodušený přístup k informacím z jiných zařízení. Konvence standardu IEC 61850 stanovuje pravidla pro tvorbu datové struktury v zařízení (konfigurační jazyk SCL). Fyzické zařízení jako PLC či IED ochrana jsou tímto složeny z logických zařízení (LD), logických uzlů (LN), datových objektů a jejich atributů. Bližší náhled a informace o tvorbě datové struktury PLC AC800M a IED ochrany REF615 jsou uvedeny v kapitolách 5.1 a 5.2.

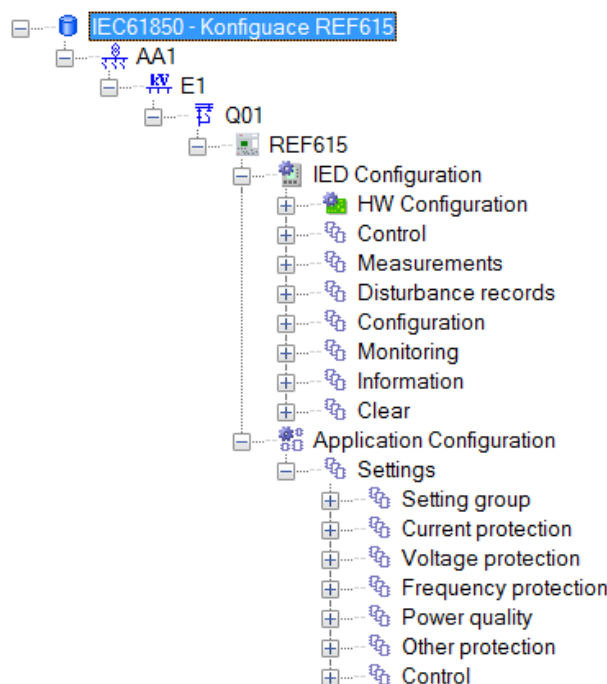


Obr. 13 – Postup realizace příkladu komunikační sítě

Pro úspěšné nahrání všech dílčích konfiguračních souborů do vývojového prostředí IET600 byly všechny soubory exportovány jako soubor typu CID. Při opětovném nahrávání ucelené konfigurace komunikace do všech zařízení včetně OPC Serveru a klientů v podobě operátorských pracovišť bylo pro export použito typu souboru SCD. Během zpracovávání softwarových částí této diplomové práce bylo využito aplikačních manuálů pro vývojová prostředí Contol Builder, Automotion Builder, 800xA a PCM600 se zaměřením na ochranu REF615 [25, 24, 23, 22].

5.1 Základní konfigurace REF615

Konfigurace ochrany REF615 byla realizována v univerzálním vývojovém prostředí pro konfiguraci IED ochran řady Relion, a to PCM600. V tomto prostředí byla provedena konfigurace aplikace, dále pak nastavení displeje a parametrizace zvolené IED ochrany. Parametry lze nastavit v příslušných tabulkách pro danou parametrizaci, jejichž názvy lze vidět ve vytvořené stromové struktuře projektu na Obr. 14. Na tomto obrázku se nejedná o datovou strukturu. Ta je ve vývojové prostředí PCM600 generována na pozadí v závislosti na typu zvolené IED ochrany. Charakteristické parametry jednotlivých dílčích ochran v podobě funkčních bloků byly ponechány v základním nastavení, neboť pro účely této práce nebyla jejich změna nutná.



Obr. 14 – Stromová struktura projektu ve vývojovém prostředí PCM

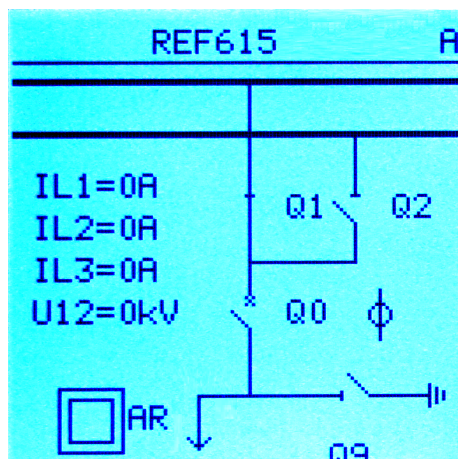
Vysvětlivky ke struktuře na Obr. 14:

AA1 je název elektrické rozvodny (Substation Level);

E1 je energetická hladina (Voltage Level);

Q01 je odběrový uzel na dané energetické hladině (Bay Level).

Konfigurací aplikace se rozumí programování založené na jazyku FBD za účelem implementace funkcionality IED ochrany. Výsledná konfigurace aplikace ochrany REF615 vychází ze základní šablony pro tuto IED ochranu, která je dána výrobcem a je dodávána společně se zařízením. Prvním krokem úpravy šablony konfigurace aplikace je přizpůsobení schématu chránicí soustavy. Tato změna je doprovázena úpravou schématu na displeji samotné ochrany REF615, jak je vidět na Obr. 15. Mezi další úpravy aplikace konfigurace patří např. úprava funkcionality některých vstupních a výstupních prvků demo kufru (tlačítka, LED diody).



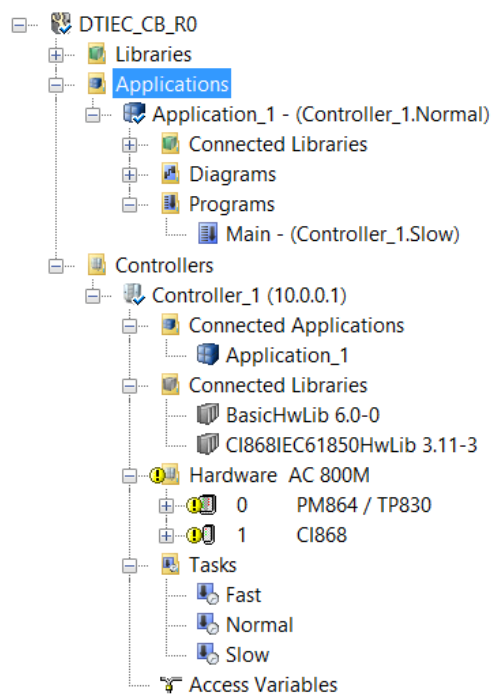
Obr. 15 – Displej ochrany REF615 se schématem soustavy spínacích prvků

Výsledná konfigurace aplikace je zdokumentována a okomentována v příloze 1. Součástí komentářů je záznam o provedených změnách vůči základní konfiguraci od výrobce. Použité funkční bloky jsou pojmenovány zkratkami. Jedná se o funkční bloky dílčích ochran (napěťová, proudová, aj.) a měření (proud, napětí, frekvence aj.). Jejich vnitřní struktura stejně a tak jejich názvy jsou dány výrobcem a jsou neměnné, neboť reprezentují datové objekty v datové struktuře podle standardu IEC 61850. Toto pravidlo zajišťuje přehledný přístup k libovolným funkcím, a to v různých vývojových prostředích, jak lze vidět i v kapitolách 5.2, 5.4 a 5.3. Význam zkratk funkčních bloků je uveden v příloze 2.

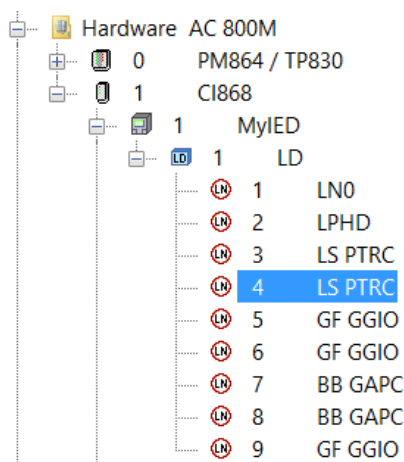
5.2 Základní konfigurace PLC AC800M

Konfigurace, programování algoritmů a mapování signálů PLC AC800M bylo realizováno ve vývojovém prostředí Control Builder. Zde bylo oproti vývojovému prostředí PCM600 nutné vytvořit datovou strukturu ručně společně se strukturou HW architektury.

Stromovou strukturu projektu včetně použitých knihoven a funkcí lze vidět na Obr. 16. Datová struktura PLC AC800M se dále nachází na Obr. 17. Blok MyIED označuje logický obraz fyzického PLC, kde název je dán samotným vývojovým prostředím Control Builder. Ostatní zařízení jsou pak pojmenovány svými technickými klíči.



Obr. 16 – Stromová struktura projektu ve vývojovém prostředí Control Builder



Obr. 17 – Datová struktura PLC AC800M ve vývojovém prostředí Control Builder

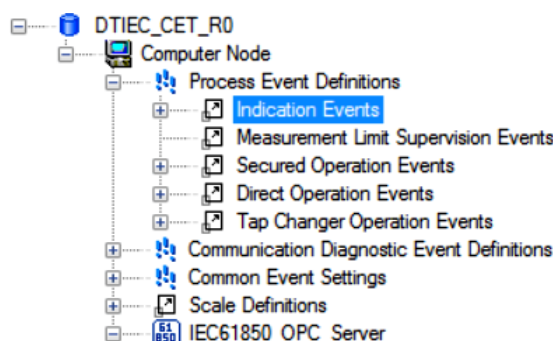
Během základní konfigurace proběhlo současně i nastavení IP adresy kontroléru a komunikační karty skrze nástroj IP configuration a kabelové rozhraní s převodníkem mezi USB-B a RS-485 (s konektorem typu RJ-45). Pro mapování jednotlivých příchozích a odchozích signálů byl vytvořen seznam globálních proměnných, který lze vidět na Obr. 18. Tento seznam je také možné vytvořit až v pokročilé konfiguraci, neboť ostatní zařízení v síti nemusí tento obsah znát předem, ale nahlíží na něj v online režimu. Mapování I/O signálů je blíže popsáno v kapitole 5.5.

	Name	Data Type	Attributes	I/O Address
1	gCBR_pos	dint	retain	Controller 1.1.2.1.1
2	DC1_pos	dint	retain	Controller 1.1.2.1.2
3	DC2_pos	dint	retain	Controller 1.1.2.1.3
4	ESS_pos	dint	retain	Controller 1.1.2.1.4
5	I Pha A	ReallO	retain	Controller 1.1.2.2.1
6	I Pha B	ReallO	retain	Controller 1.1.2.2.2
7	I Pha C	ReallO	retain	Controller 1.1.2.2.3
8	U Assoc AB	ReallO	retain	Controller 1.1.2.2.4
9	U Assoc BC	ReallO	retain	Controller 1.1.2.2.5
10	U Assoc CA	ReallO	retain	Controller 1.1.2.3.1
11	ARC21	BoolO	retain	Controller 1.1.2.4.3
12	CB open	BoolO	retain	Controller 1.1.1.1.3.2
13	CB close	BoolO	retain	Controller 1.1.1.1.3.3
14	Out LED1	BoolO	retain	Controller 1.1.1.1.3.4
15	DC1 open	BoolO	retain	Controller 1.1.1.1.3.5
16	DC1 close	BoolO	retain	Controller 1.1.1.1.3.6
17	DC2 open	BoolO	retain	Controller 1.1.1.1.3.7
18	DC2 close	BoolO	retain	Controller 1.1.1.1.3.8
19	OUT LED2	BoolO	retain	Controller 1.1.1.1.3.9
20	OUT LED3	BoolO	retain	Controller 1.1.1.1.3.10
21	OC1	BoolO	retain	Controller 1.1.2.4.1

Obr. 18 – Seznam globálních proměnných v aplikaci pro PLC AC800M

5.3 Základní konfigurace pro IEC61850 OPC Server

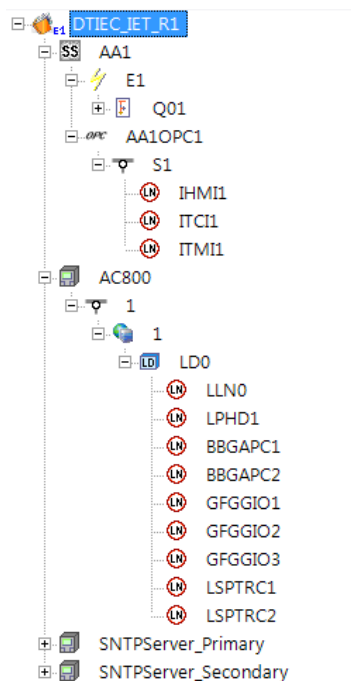
Pro vytvoření komunikačního přístupu k IEC 61850 OPC Serveru bylo využito vývojového prostředí CET. Za pomoci knihovny shodného názvu byla vytvořena základní struktura, kterou lze vidět na Obr. 19 a která byla posléze nahrána do konfigurace komunikační sítě.



Obr. 19 – Struktura projektu ve vývojovém prostředí CET600

5.4 Konfigurace komunikační sítě

Po založení nového projektu ve vývojovém prostředí IET600 bylo nutné zde nahrát všechny dílčí konfigurační soubory. Současně bylo během nahrávání nutné dodržet předpokládanou strukturu, kterou lze vidět na Obr. 20. Před zahájením tvorby komunikace bylo provedeno namapování signálů z IED ochrany na správný odběrový uzel, a to i přes skutečnost, že se v této práci nachází pouze jeden. Objekty SNTP pro časovou synchronizaci jsou vytvořeny automaticky při založení projektu.



Obr. 20 – Struktura projektu ve vývojovém prostředí IET600

Během komunikace IEC 61850 MMS není pro přístup k informacím z ochrany REF615 nutné předem definovat, jaká data mají být vyčítána, neboť struktura této ochrany je známa všem zařízením v síti. Toto je ovšem podmíněno zasláním požadavku ochraně, která zde představuje server. Rutina dotazování byla v této práci zachována pro příkazy na změnu stavu spínacích prvků ovládaných ochranou REF615. Zde je využita metoda SBO. Nejprve je vybrán spínací prvek pomocí funkce Select. Tímto je zajištěno, že žádný jiný klient nemůže ve stejnou chvíli měnit polohu daného spínacího prvku. Následně je provedena požadovaná změna polohy pomocí funkce Operate.

Pro pravidelné získávání naměřených dat bez dotazování na server byly definovány a implementovány datové objekty (data objects) pro komunikaci typu MMS (Report Control Block). Obdobným způsobem byly vytvořeny i datové objekty pro komunikaci typu GOOSE (GOOSE Control Block). Zde však bylo jejich vytvoření pro přenos informací bezpodmínečně nutné vzhledem k tomu, že komunikace probíhá formou producent-konzument.

Datové objekty jsou určeny pro přenos předem specifikovaných informací z jednoho zařízení do druhého. Datový objekt pro komunikaci ze směru od PLC AC800M k ochraně REF615 byl vytvořen automaticky během nahrání základní konfigurace pro PLC do vývojového prostředí IET. Ostatní datové objekty bylo nutné vytvořit ručně.

	IED	LD	LN	Dataset	Related Control Blocks	Status
	AC800	LD0	LLN0	GOOSE_Cmnds	new_gcb1	Manually configured
	AA1J1Q01A1	LD0	LLN0	MMS_DR	rcb_DR	Manually configured
	AA1J1Q01A1	LD0	LLN0	GOOSE_Ctrl	Control	Manually configured
	AA1J1Q01A1	LD0	LLN0	GOOSE_Meas	Measurement	Manually configured
	AA1J1Q01A1	LD0	LLN0	GOOSE_Prot	Protection	Manually configured
	AA1J1Q01A1	LD0	LLN0	MMS_Meas	rcb_Meas	Manually configured
	AA1J1Q01A1	LD0	LLN0	MMS_ARC	rcb_ARC	Manually configured
	AA1J1Q01A1	LD0	LLN0	MMS_Pos	rcb_Pos	Manually configured

Obr. 21 – Seznam datových objektů a datových souborů ve vývojovém prostředí IET600

Přenášené informace v datových objektech jsou specifikovány pomocí datových souborů (datasets), které jsou složeny z atributů funkčních bloků. Náhled na seznam datových objektů a datových souborů z vývojového prostředí IET600 se nachází na Obr. 21. Ukázka z tvorby datového souboru během přidávání atributu o pozici jističe se dále nachází na Obr. 22. Detailní obsah všech datových souborů se nachází v příloze 3, a to rozděleně pro komunikace typu MMS a GOOSE.

LD:	LN:	DObject:	DAttr.:	FC:
CTRL	CBCSW1	Pos	stVal [ST]	ST
CTRL	CBCILO1	AutoPls	ctlModel [CF]	stVal
DR	CBCSW1	Beh	operTimeout [CF]	
LD0	CBXCBR1	ClsEna	pulseConfig [CF]	
	DCCILO1	Health	pulseConfig.cmdQual [CF]	
	DCCILO2	Mod	pulseConfig.numPls [CF]	
	DCCSW1	NamPlt	pulseConfig.offDur [CF]	
	DCCSW2	OpCls	pulseConfig.onDur [CF]	
	DCSXSW1	OpCntRs	q [ST]	
	DCXSW1	OpDlTmms	sboTimeout [CF]	
	DCXSW2	OpnEna	stSeld [ST]	
	ESCILO1	OpOpn	stVal [ST]	
	ESCSW1	Pos	t [ST]	
	ESSXSW1	PosCls		
	ESXSW1	PosOk		

Obr. 22 – Ukázka vkládání atributu o pozici jističe do datového souboru ve vývojovém prostředí IET600

Po vytvoření a přiřazení datových souborů patřičným datovým objektům bylo provedeno jejich přiřazení k druhé straně komunikace resp. příjemci. Přiřazení všech datových objektů pro oba typy komunikace MMS a GOOSE se nachází na Obr. 23 a 24. U datového objektu pro komunikaci ve směru od PLC k IED ochraně je pořadí obou zařízení zaměněné.

	IED Name	LD	LN	GCB	Attached Dataset	AA1JQ01A1 (LD0)	AC800 (L)
▶	AC800	LD0	LLN0	new_gcb1	GOOSE_Cmds	x	
	AA1J1Q01A1	LD0	LLN0	Control	GOOSE_Ctrl		x
	AA1J1Q01A1	LD0	LLN0	Measurement	GOOSE_Meas		x
	AA1J1Q01A1	LD0	LLN0	Protection	GOOSE_Prot		x

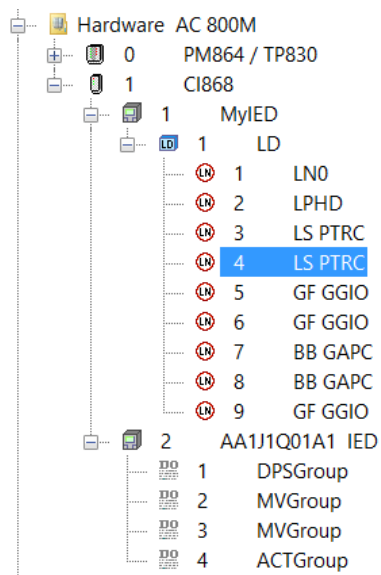
Obr. 23 – Přiřazení datových objektů účastníkům komunikace typu IEC 61850-GOOSE

	IED Name	LD	LN	RCB	Attached Dataset	AA1OPC1 (S1)
	AA1J1Q01A1	LD0	LLN0	rcb_ARC	MMS_ARC	1
	AA1J1Q01A1	LD0	LLN0	rcb_DR	MMS_DR	1
	AA1J1Q01A1	LD0	LLN0	rcb_Meas	MMS_Meas	1
	AA1J1Q01A1	LD0	LLN0	rcb_Pos	MMS_Pos	1

Obr. 24 – Přiřazení datových objektů účastníkům komunikace typu IEC 61850-MMS

5.5 Mapování signálů z komunikace typu GOOSE pro kontrolér AC800M

Po nahrání ucelené konfigurace komunikace z vývojového prostředí IET600 do vývojového prostředí Control Builder bylo provedeno mapování nově dostupných signálů v příchozích datových souborech a odchozích příkazů k vnitřním globálním proměnným PLC. K těmto proměnným je následně přistupováno z vyšších vrstev řízení. Mapovací bloky pro čtení příchozích dat lze vidět na Obr. 25. Na tomto obrázku lze zároveň vidět mapovací blok dedikovaný pro odchozí příkazy. Tento blok se nazývá LS PTRC, který je limitovaný počtem použitých příkazů, a to maximálně devět, jak lze také vidět na Obr. 27 z vývojového prostředí PCM600.



Obr. 25 – Struktura projektu ve vývojovém prostředí Control Builder po nahrání ucelené konfigurace komunikace

Pro signalizaci vzdáleného držení pozice jističe a odpojovačů na demo kufru byly využity jeho LED diody v režimu blikání. Blikání zajišťuje PLC AC800M. Tuto změnu nebylo bezprostředně nutné nahrávat do ucelené konfigurace komunikace. Při vzdáleném držení některého spínacího prvku v určité poloze příkazem z PLC AC800M dochází k blikání těchto diod. Režim blikání byl zvolen pro rozlišení mezi jejich dalšími signalizacemi doprovázejících vybavení vybraných dílčích ochranných funkčních bloků ochrany REF615. Pro doplnění je zmíněný kód, který je součástí hlavní smyčky programu v PLC AC800M, uveden na Obr. 26. Doba mezi cykly PLC byla stanovena parametricky na 500ms.

```

if CB_open.Value = true or CB_close.Value = true then
    Out_LED1_on.Value := NOT Out_LED1_on.Value;
else
    Out_LED1_on.Value := 0;
end_if;

if DC1_open.Value = true or DC1_close.Value = true then
    Out_LED2_on.Value := NOT Out_LED2_on.Value;
else
    Out_LED2_on.Value := 0;
end_if;

if DC2_open.Value = true or DC2_close.Value = true then
    Out_LED3_on.Value := NOT Out_LED3_on.Value;
else
    Out_LED3_on.Value := 0;
end_if;


```

Obr. 26 – Program v hlavní smyčce PLC AC800M pro blikání LED diod na demo kufru

5.6 Mapování signálů z komunikace typu GOOSE pro ochranu REF615

Způsob, jakým proběhlo mapování signálů pro komunikaci typu GOOSE ve vývojovém prostředí PCM600 je ve své podstatě velice podobný způsobu mapování ve vývojovém prostředí Control Builder. Mapování signálů pro komunikaci typu MMS se neprovádí, jak již bylo vysvětleno v kapitole 5.4.

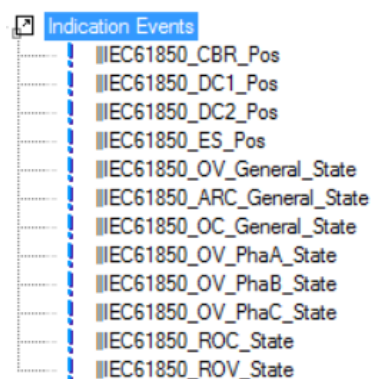
Mapování signálů do vnitřních proměnných ochrany REF615 bylo realizováno nastavením signálové matice a následnou editací konfigurace aplikace přidáním bloků pro čtení binárních vstupů z komunikace typu GOOSE (bloky GOOSERCV_ BIN). Výsledek umožnil vzdálené ovládání ochrany REF615 ze strany PLC AC800M.

	<div>IED, Logical Device : </div>	AC800, LD0	AC800, LD0									
			Data Object: Data Attribute:	LSPTRC1								
				Tr1 general	Tr2 general	Tr3 general	Tr4 general	Tr5 general	Tr6 general	Tr7 general	Tr8 general	Tr9 general
- GOOSERCV BIN:0												
GOOSERCV BIN:0 IN			X									
- GOOSERCV BIN:1												
GOOSERCV BIN:1 IN				X								
- GOOSERCV BIN:2												
GOOSERCV BIN:2 IN					X							
- GOOSERCV BIN:3												
GOOSERCV BIN:3 IN						X						
- GOOSERCV BIN:4												
GOOSERCV BIN:4 IN							X					
- GOOSERCV BIN:5												
GOOSERCV BIN:5 IN								X				
- GOOSERCV BIN:6												
GOOSERCV BIN:6 IN									X			
- GOOSERCV BIN:7												
GOOSERCV BIN:7 IN										X		
- GOOSERCV BIN:8												
GOOSERCV BIN:8 IN										X		

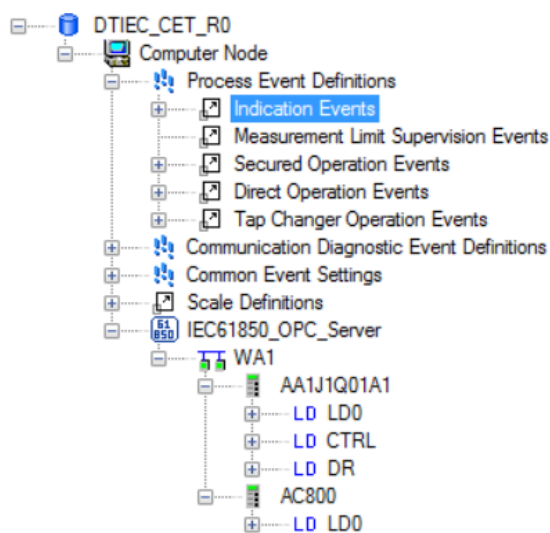
Obr. 27 – Signálová matice příkazů z PLC AC800M do ochrany REF615 ve vývojovém prostředí PCM600

5.7 Nastavení alarmů a událostí pro IEC 61850 OPC Server

Po nahrání ucelené konfigurace komunikace do vývojového prostředí CET byl vytvořen a implementován seznam bloků pro alarmy a události. Tento seznam je obsažen v prvku pro indikační události a lze jej vidět na Obr. 28. Strukturu projektu ve vývojovém prostředí CET po nahrání ucelené konfigurace komunikace lze dále vidět na Obr. 29.



Obr. 28 – Bloky pro zachycení alarmů a událostí ve vývojovém prostředí CET



Obr. 29 – Struktura projektu s nahranou ucelenou konfigurací komunikace ve vývojovém prostředí CET

Ukázka z implementace bloku pro alarmy a události s odkazem na příslušný atribut datového souboru z ochrany REF615 se dále nachází na Obr. 30. Názvosloví stavu každého alarmu či události bylo provedeno pomocí předpony ||IEC61850. Jedná se o funkci NLS, která umožňuje jejich následné vícejazyčné pojmenování. Tato funkce je podporována zároveň ve vývojovém prostředí 800xA pro tvorbu operátorského pracoviště resp. uživatelského rozhraní, kde jsou ručně vytvořena pojmenování všech názvů obsahující funkci NLS, a to v českém i anglickém jazyce.

[010] Basic	
Base Type	Advanced Discrete Indication
Condition Category	ProcessConditionDiscreteEvent
Inactive Acknowledge Required	True
Inactive Description	IIIEC61850_Pos
Number Of States	Double Binary Information
Simple Event Category	ProcessSimpleDiscreteEvent
[011] State 0	
Event Generation Type	AlarmingEvent
State 0 Acknowledge Required	True
State 0 Description	IIIEC61850_CBR_Intermediate
State 0 Severity	600
State 0 Subcondition name	Intermediate
[012] State 1	
Event Generation Type for State 1	Non-AlarmingEvent
State 1 Acknowledge Required	True
State 1 Description	IIIEC61850_CBR_Open
State 1 Severity	400
State 1 Subcondition name	Open
[013] State 2	
Event Generation Type for State 2	Non-AlarmingEvent
Severity	400
State 2 Acknowledge Required	True
State 2 Description	IIIEC61850_CBR_Closed
State 2 Subcondition name	Closed
[014] State 3	
Event Generation Type for State 3	AlarmingEvent
State 3 Acknowledge Required	True
State 3 Description	IIIEC61850_CBR_Faulty
State 3 Severity	800
State 3 Subcondition name	Faulty

Obr. 30 – Ukázka z implementace bloku pro alarmy a události z polohy jističe ve vývojovém prostředí CET

6 Tvorba operátorského pracoviště

Pro vytvoření operátorského pracoviště včetně uživatelského rozhraní bylo vybráno vývojové prostředí 800xA. Jedná se o prostředí určené pro vizualizaci a integraci energetických, bezpečnostních a distribuovaných řídicích systémů. Zároveň je toto prostředí plně kompatibilní s komunikačním protokolem IEC 61850.

Pro úspěšnou realizaci bylo opět nutné nahrát shodnou verzi ucelené konfigurace komunikace (SCD soubor), jako u ostatních fyzických a virtuálních zařízení. Přístup k datovým souborům z ochrany REF615 je zde realizován pomocí knihovny IEC 61850 OPC Server. Jedná se o rutinu OPC Serveru pro datový přístup (DA). Data z alarmů a událostí (AE) jsou zde nahrány z vytvořené aplikace IEC 61850 OPC Server AE ve vývojovém prostředí CET.

6.1 Struktura projektu ve vývojovém prostředí 800xA

Struktura projektu ve vývojovém prostředí 800xA je charakteristickým znakem tohoto prostředí. Jedná se o velmi rozsáhlou strukturu, která je rozdělena podle funkcionality (správa knihoven, tvorba šablon, uživatelský přístup, archivace, aj.). Z tohoto důvodu je níže pro snazší porozumění následujících kapitol uveden přehled implementovaného obsahu editovaných segmentů zmíněné základní struktury projektu ve vývojovém prostředí 800xA:

- Objektová struktura (Object type structure): implementace šablon pro prvky uživatelského rozhraní, mapování signálů k IED ochraně obecně;
- Funkční struktura (Function structure): implementace uživatelského rozhraní aplikace, mapování signálů k ochraně REF615;
- Struktura knihoven (Library structure): knihovny pro ostatní rutiny IEC 61850 OPC Server, překlad výrazů z formátu NLS;
- Uživatelská struktura (User structure): správa uživatelského přístupu a práv;
- Servisní struktura (Service structure): archivace dat pro historický trend (History Server);
- Řídicí struktura (Control structure): přístup k vnitřním proměnným PLC AC800M.

6.2 Mapování signálů z komunikace typu MMS do prostředí 800xA

Za účelem usnadnění tvorby uživatelského rozhraní byly vytvořeny vnitřní proměnné, které byly následně přiřazeny k požadovaným signálům z ochrany REF615. Nejednalo se pouze o obsah datových souborů pro IEC 61850 OPC Server, ale dále také příkazy pro změnu polohy spínacích prvků. Napojení těchto signálů na prvky uživatelského rozhraní je tímto méně časově náročné a zároveň přehledné.

Názvy vnitřních proměnných byly zvoleny tak, aby vždy odkazovaly na příslušnou skupinu logických uzlů a následně na pořadové číslo požadovaného logického uzlu. Tento způsob přiřazení do proměnných je zvláště využitelný, pokud síť obsahuje více IED ochran, neboť názvy logických uzlů a jejich pořadí jsou dány samotným standardem IEC 61850 a zvoleným typem ochrany. Rozdíl tímto spočívá pouze v odlišném názvu

IED ochrany. Seznam vytvořených vnitřních proměnných a jejich namapování k signálům z ochrany REF615 lze vidět na Obr. 31.

CSWI_1.Pos.ctlCan	WA1\AA1J1Q01A1\CTRL\CBCSWI1\Pos\ctlCan
CSWI_1.Pos.ctlOperOff	WA1\AA1J1Q01A1\CTRL\CBCSWI1\Pos\ctlOperOff
CSWI_1.Pos.ctlOperOn	WA1\AA1J1Q01A1\CTRL\CBCSWI1\Pos\ctlOperOn
CSWI_1.Pos.ctlSelOff	WA1\AA1J1Q01A1\CTRL\CBCSWI1\Pos\ctlSelOff
CSWI_1.Pos.ctlSelOn	WA1\AA1J1Q01A1\CTRL\CBCSWI1\Pos\ctlSelOn
CSWI_1.Pos.stVal	WA1\AA1J1Q01A1\CTRL\CBCSWI1\Pos\stVal
CSWI_2.Pos.ctlCan	WA1\AA1J1Q01A1\CTRL\DCCSWI1\Pos\ctlCan
CSWI_2.Pos.ctlOperOff	WA1\AA1J1Q01A1\CTRL\DCCSWI1\Pos\ctlOperOff
CSWI_2.Pos.ctlOperOn	WA1\AA1J1Q01A1\CTRL\DCCSWI1\Pos\ctlOperOn
CSWI_2.Pos.ctlSelOff	WA1\AA1J1Q01A1\CTRL\DCCSWI1\Pos\ctlSelOff
CSWI_2.Pos.ctlSelOn	WA1\AA1J1Q01A1\CTRL\DCCSWI1\Pos\ctlSelOn
CSWI_2.Pos.stVal	WA1\AA1J1Q01A1\CTRL\DCCSWI1\Pos\stVal
CSWI_3.Pos.ctlCan	WA1\AA1J1Q01A1\CTRL\DCCSWI2\Pos\ctlCan
CSWI_3.Pos.ctlOperOff	WA1\AA1J1Q01A1\CTRL\DCCSWI2\Pos\ctlOperOff
CSWI_3.Pos.ctlOperOn	WA1\AA1J1Q01A1\CTRL\DCCSWI2\Pos\ctlOperOn
CSWI_3.Pos.ctlSelOff	WA1\AA1J1Q01A1\CTRL\DCCSWI2\Pos\ctlSelOff
CSWI_3.Pos.ctlSelOn	WA1\AA1J1Q01A1\CTRL\DCCSWI2\Pos\ctlSelOn
CSWI_3.Pos.stVal	WA1\AA1J1Q01A1\CTRL\DCCSWI2\Pos\stVal
XSWI_4.Pos.stVal	WA1\AA1J1Q01A1\CTRL\ESXSWI1\Pos\stVal
MMXU_1.A.phsA.cVal.mag	WA1\AA1J1Q01A1\LD0\CMMXU1\A\phsA\cVal\mag
MMXU_1.A.phsB.cVal.mag	WA1\AA1J1Q01A1\LD0\CMMXU1\A\phsB\cVal\mag
MMXU_1.A.phsC.cVal.mag	WA1\AA1J1Q01A1\LD0\CMMXU1\A\phsC\cVal\mag
MMXU_2.Hz.mag	WA1\AA1J1Q01A1\LD0\FMMXU1\Hz\mag
MMXU_3.TotPF.mag	WA1\AA1J1Q01A1\LD0\FEMMXU1\TotPF\mag
MMXU_3.TotVA.mag	WA1\AA1J1Q01A1\LD0\FEMMXU1\TotVA\mag
MMXU_3.TotVar.mag	WA1\AA1J1Q01A1\LD0\FEMMXU1\TotVar\mag
MMXU_3.TotW.mag	WA1\AA1J1Q01A1\LD0\FEMMXU1\TotW\mag
MMXU_4.A.res.cVal.mag	WA1\AA1J1Q01A1\LD0\RESCMMXU1\A\res\cVal\mag
MMXU_5.PhV.res.cVal.m...	WA1\AA1J1Q01A1\LD0\RESVMMXU1\PhV\res\cVal\mag
MMXU_6.PPV.phsAB.cVa...	WA1\AA1J1Q01A1\LD0\VMMXU1\PPV\phsAB\cVal\mag
MMXU_6.PPV.phsBC.cVa...	WA1\AA1J1Q01A1\LD0\VMMXU1\PPV\phsBC\cVal\mag
MMXU_6.PPV.phsCA.cVa...	WA1\AA1J1Q01A1\LD0\VMMXU1\PPV\phsCA\cVal\mag
MMXU_6.PhV.phsA.cVal....	WA1\AA1J1Q01A1\LD0\VMMXU1\PhV\phsA\cVal\mag
MMXU_6.PhV.phsB.cVal....	WA1\AA1J1Q01A1\LD0\VMMXU1\PhV\phsB\cVal\mag
MMXU_6.PhV.phsC.cVal....	WA1\AA1J1Q01A1\LD0\VMMXU1\PhV\phsC\cVal\mag

Obr. 31 – Mapování signálů z ochrany REF615 do vnitřních proměnných v prostředí 800xA

6.3 Mapování alarmů a událostí do prostředí 800xA

Po nahrání aplikace v prostředí CET do prostředí 800xA byly všechny definované proměnné typu NLS shromážděny ve struktuře knihoven. V následujícím kroku byl proveden překlad z NLS do češtiny a angličtiny. Ukázku z překladu lze vidět na Obr. 32. Volba jazyka z překladače NLS neprobíhá manuálně, nýbrž v závislosti na jazyce operačního systému. V tomto případě je jazyk operačního systému a tím i tabulky pro alarmy a události v angličtině. Nicméně ostatní prvky uživatelského rozhraní jsou zpracovány s ohledem na jazyk zpracování této práce, a to v češtině.

Resource Id	English (United States)	Czech (Czech Republic)
IEC61850_00	Intermediate position	Mezipoloha 0
IEC61850_01	Open	Otevreno
IEC61850_10	Closed	Uzavreno
IEC61850_11	Faulty positon	Mezipoloha 3
IEC61850_ARC_General_Active	Active	Aktivni
IEC61850_ARC_General_Inac...	Inactive	Neaktivni
IEC61850_ARC_General_State	ARC protection	Obloukova ochrana
IEC61850_CBR_Close	Closed	Uzavreno

Obr. 32 – Ukázka z překladače NLS do češtiny a angličtiny

6.4 Grafická reprezentace alarmů a událostí

Na Obr. 33 lze vidět ukázkou tabulky s alarmy a událostmi pro uživatelské rozhraní. Každý alarm či událost obsahuje informace o místě a čase vzniku poruchy a dále také operátora, který byl v danou dobu přihlášen k operátorskému pracovišti. Přístup k této tabulce se nachází uprostřed čelního panelu viditelného na Obr. 34.

Q01 : Alarm and Event List

Q01:Alarm and Event List

Event view

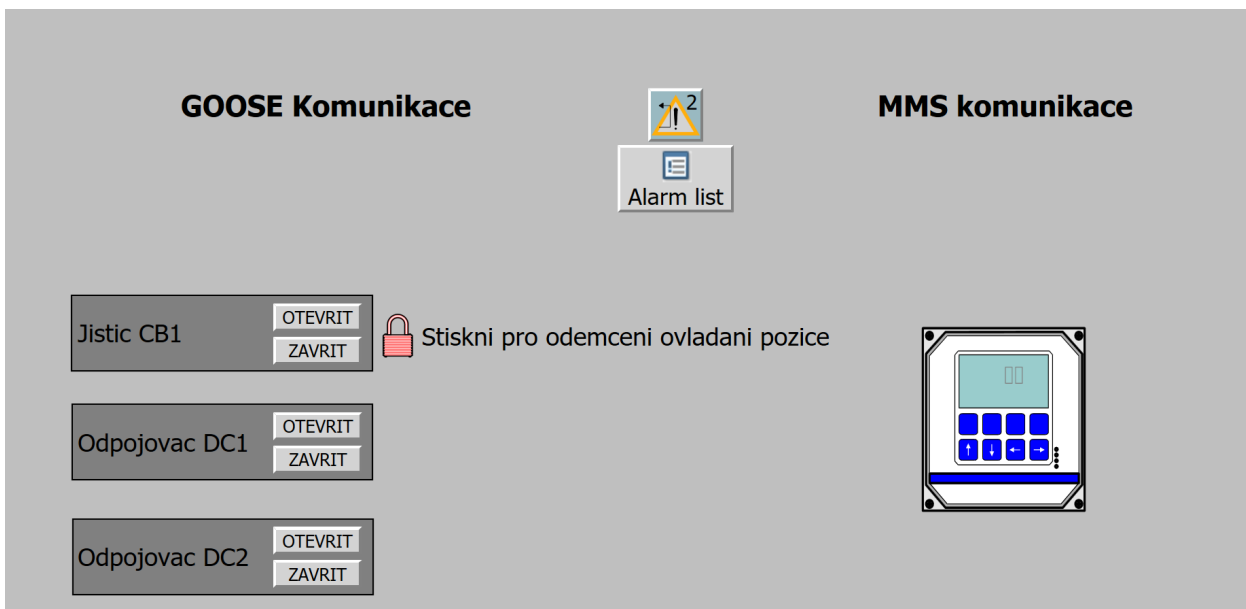
State	PriorityLevel	ActiveTime	ObjectName	Condition	Message	IEDName	Actor
ACT	1	03 15:08:26:716	Q01	Circuit breaker	Faulty position	AA1J1Q01A1	800xAInstaller
RTN	2	03 14:58:06:852	Q01	Disconnecter 1	Intermediate position	AA1J1Q01A1	800xAInstaller
RTN	2	03 14:58:06:852	Q01	Earth switch	Intermediate position	AA1J1Q01A1	800xAInstaller
ACT	2	03 14:58:06:852	Q01	Disconnecter 1	Intermediate position	AA1J1Q01A1	800xAInstaller
ACT	2	03 14:58:06:852	Q01	Earth switch	Intermediate position	AA1J1Q01A1	800xAInstaller
ACT	2	03 13:10:15:938	Q01	Disconnecter 2	Intermediate position	AA1J1Q01A1	800xAInstaller
RTN	2	03 13:10:15:938	Q01	Disconnecter 2	Intermediate position	AA1J1Q01A1	800xAInstaller
RTN	2	03 11:32:52:833	Q01	General overvoltage protection	Active	AA1J1Q01A1	800xAInstaller
ACT	2	03 11:32:52:833	Q01	Overvoltage protection of phas	Active	AA1J1Q01A1	800xAInstaller
ACT	2	03 11:32:52:833	Q01	Overvoltage protection of phas	Active	AA1J1Q01A1	800xAInstaller
ACT	2	03 11:32:52:833	Q01	General overvoltage protection	Active	AA1J1Q01A1	800xAInstaller
ACT	2	03 11:32:52:833	Q01	General overcurrent protection	Active	AA1J1Q01A1	800xAInstaller
RTN	2	03 11:32:52:833	Q01	General overcurrent protection	Active	AA1J1Q01A1	800xAInstaller
ACT	2	03 11:32:52:833	Q01	General overcurrent protection	Active	AA1J1Q01A1	800xAInstaller
ACT	2	03 11:32:52:833	Q01	Overvoltage protection of phas	Active	AA1J1Q01A1	800xAInstaller
ACT	2	03 11:32:52:833	Q01	General overvoltage protection	Active	AA1J1Q01A1	800xAInstaller
RTN	2	03 11:32:52:833	Q01	Overvoltage protection of phas	Active	AA1J1Q01A1	800xAInstaller
RTN	2	03 11:32:52:833	Q01	Overvoltage protection of phas	Active	AA1J1Q01A1	800xAInstaller
RTN	2	03 11:32:52:833	Q01	Overvoltage protection of phas	Active	AA1J1Q01A1	800xAInstaller
ACT	2	03 11:32:52:833	Q01	Overvoltage protection of phas	Active	AA1J1Q01A1	800xAInstaller

Obr. 33 – Grafická reprezentace alarmů a událostí v prostředí 800xA

6.5 Čelní panel uživatelského rozhraní

Prvky na čelním panelu uživatelského rozhraní aplikace byly rozděleny podle typu komunikace. Na levé straně čelního panelu se nachází ovládací prvky komunikace typu GOOSE. Dle návrhu komunikace popsaného v kapitole 4.10 se jedná o reprezentaci požadavku na ovládání spínacích prvků během časově kritických událostí.

Implementovaná blokovácí funkce zajišťuje blokování spínacího prvku v dané poloze bez ohledu na požadavek od ostatních uživatelů. Pro ukončení blokování a tím obnovení normálního režimu je čelní panel vybaven výstražným tlačítkem v podobě zámku a textovou nápovědou pro jeho použití. Ilustrace čelního panelu během blokování spínacího prvku pomocí PLC AC800M se nachází na Obr. 34.



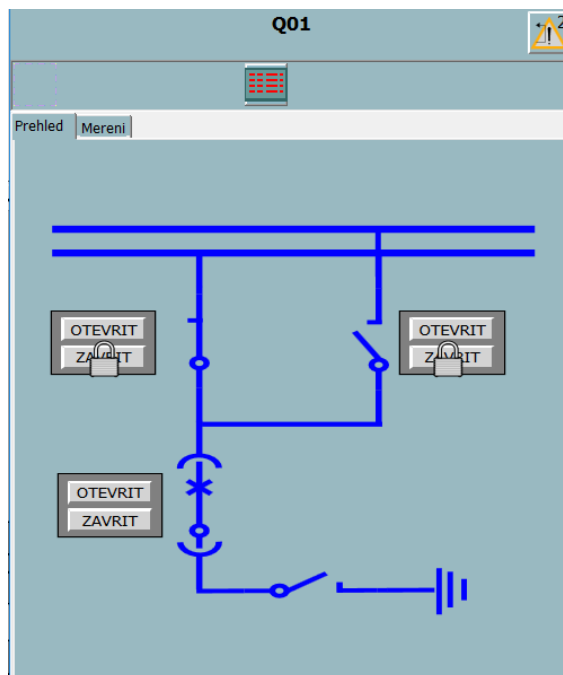
Obr. 34 – Čelní panel uživatelského rozhraní v prostředí 800xA

6.6 Uživatelské rozhraní pro komunikaci typu MMS

V praxi obsahují komunikační sítě větší množství zařízení, především IED ochran. Na uživatelském rozhraní bývá zpravidla zobrazeno nemalé množství měřených veličin a vlastní schéma zapojení ovládaných spínacích prvků každé z těchto IED ochran.

Vzhledem k předpokladu, že výsledek práce bude využit jako školící materiál, byl základní pohled na ochranu REF615 realizován formou ikony, jak lze vidět v pravé části čelního panelu. Čelní panel může tímto obsahovat daleko větší množství IED ochran a obdobně i jiných zařízení, což umožňuje vytvářet vizualizace rozsáhlých topologií se značně sníženými nároky na velikost monitoru.

Pohled na segmenty uživatelského rozhraní pro komunikaci typu MMS s ochranou REF615 nabízí Obr. 35 a 36. Ovládání spínacích prvků zde respektuje konfiguraci aplikace ochrany REF615. To znamená, že polohu odpojovačů lze měnit pouze ve stavu, kdy je odpojen jistič, což je vizuálně podpořeno indikací šedého zámku přes ovládací tlačítka pro odpojovače.



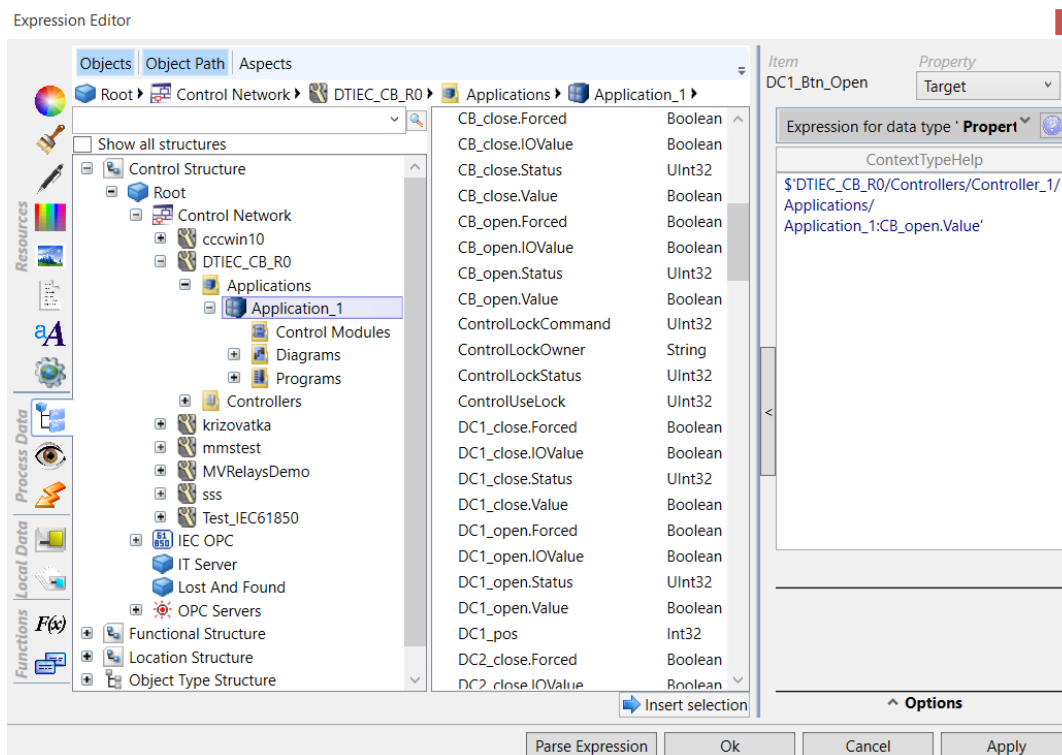
Obr. 35 – Uživatelské rozhraní pro ovládání ochrany REF615 skrze MMS v prostředí 800xA

Sdružené napětí Uab	4.06 kV
Sdružené napětí Ubc	4.05 kV
Sdružené napětí Uca	4.06 kV
Fázové napětí Ua	2.34 kV
Fázové napětí Ub	2.34 kV
Fázové napětí Uc	2.34 kV
Fázový proud Ia	11.58 A
Fázový proud Ib	11.84 A
Fázový proud Ic	11.57 A
Reziduální proud	4.21 A
Reziduální napětí	0.00 V
Cinny výkon	27.77 W
Jalovy výkon	20.41 VAr
Sdružený výkon	34.46 VA

Obr. 36 – Uživatelské rozhraní s naměřenými veličinami z ochrany REF615 skrze MMS v prostředí 800xA

6.7 Přístup z uživatelského rozhraní k vnitřním proměnným PLC AC800M

Pro navázání komunikace mezi PLC AC800M a vývojovým prostředím 800xA byl využit nástroj OPC Server AC800M Connect, což umožnilo online přístup ke všem vnitřním proměnným PLC AC800M přímo z grafického editoru v prostředí 800xA, jak lze vidět v levé části obrazovky na Obr. 37 v buňce s názvem ContextTypeHelp.



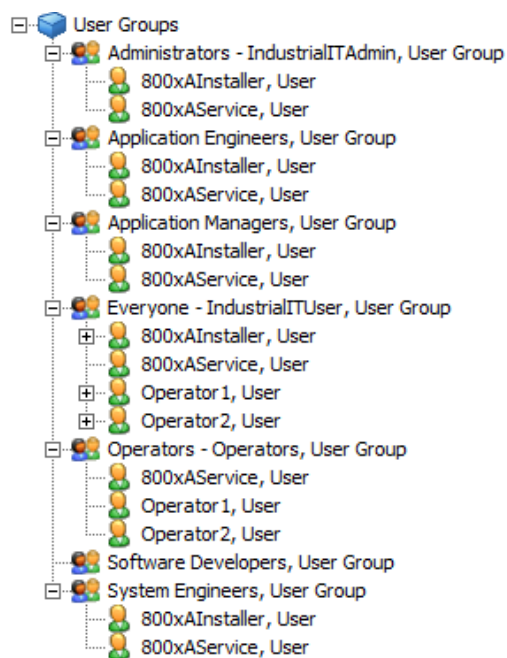
Obr. 37 – Přístup k vnitřním proměnným PLC AC800M z grafického editoru v prostředí 800xA

6.8 History Server pro archivaci dat

Pro archivaci dat bylo nutné vytvořit tzn. History Server pro logování dat. V této práci je rutina pro History Server vykonávána na jenom PC, což při objemu dat z ochrany REF615 představovalo značné vytížení operační paměti. Vytvořený historický trend se nachází v příloze č. 4. Tento trend není součástí čelního panelu uživatelského rozhraní ani z něj není spustitelný, což je dáno prostředím 800xA. Otevírá se ve funkční struktuře, kde byl vytvořen. Parametrizace vzhledu a nastavení vzoru pro vytvořený trend vznikl ve struktuře knihoven.

6.9 Uživatelský přístup pro operátory

Pro každého předpokládaného uživatele uživatelského rozhraní byl vytvořen vlastní uživatelský přístup. Nejprve byly vytvořeny uživatelské účty pro samotný operační systém Windows Enterprise. V následném kroku byli v prostředí 800xA vytvořeni uživatelé, ke kterým byly přiřazeny příslušné uživatelské účty a práva pro práci s prostředím 800xA. Tímto jsou všechna přístupová privilegia vyřešena již při úspěšném přihlášení do systému. Seznam a kategorizace všech možných uživatelů lze nalézt na Obr. 38.



Obr. 38 – Struktura uživatelů v prostředí 800xA

7 Testování

Během testování navrženého a realizovaného systému popsaného v kapitolách 4 a 5 konfigurace byla ověřena jeho veškerá funkcionalita. Na počátku každého testování proběhlo bezprostředně po zapnutí celého systému k ověření dostupnosti všech zařízení v síti, neboť v některých případech bylo pro dosažení dostupnosti nutné restartovat virtuální plochu, popř. počítač.

Nejpracnější krokem během testování byla kontrola správnosti mapování signálů postupně ve všech prostředích. V závislosti na typu komunikace se špatné mapování daného signálu projevovalo několika způsoby. Příkladem chybného mapování byla signalizace o špatné kvalitě přenosu či nutnost vyslání dotazu na data, která měla přicházet pravidelně bez dotazování. Ve výsledné aplikaci byly všechny chyby vzniklé při mapování včetně vytváření datových souborů (komunikace MMS) odstraněny.

Ovládání spínacích prvků simulačního demo kufru proběhlo jednak z jeho vlastního panelu, dále pak z ovládacího panelu ochrany REF615 a uživatelského rozhraní operátorského pracoviště. Z tohoto pracoviště byly ověřeny oba typy komunikace pro ovládání spínacích prvků. Během testování ovládání typem komunikace GOOSE byla současně ověřena správná signalizace diod na simulačním demo kufru.

Během testování byly zároveň ověřeny některé ochranné funkce ochrany REF615 s pomocí simulačního demo kufru a za současného sledování seznamu alarmů a událostí. Jednalo se o ochranu zábleskovou, nadproudovou a nadpřetovou.

7.1 Koncept náhrady PLC AC800M za PLC řady AC500

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.3, pro konfiguraci a implementaci PLC řady AC500 slouží prostředí Automation Builder. Pro tuto práci byla využita verze prostředí 2.1.2 s rozšiřovacím balíčkem IEC 61850 Server, které vzniklo společně s touto verzí a bylo vydáno v lednu roku 2019. Nicméně práce s tímto balíčkem probíhala ještě před samotným oficiálním vydáním, kde PLC řady AC500 včetně licence pro zmíněný balíček zapůjčila pro tuto práci firma VAE Prosys. Jedná se o PLC PM654-T-ETH řady AC500-eCo a lze jej vidět na Obr. 39.



Obr. 39 – Použité PLC PM654-T-ETH řady AC500-eCo

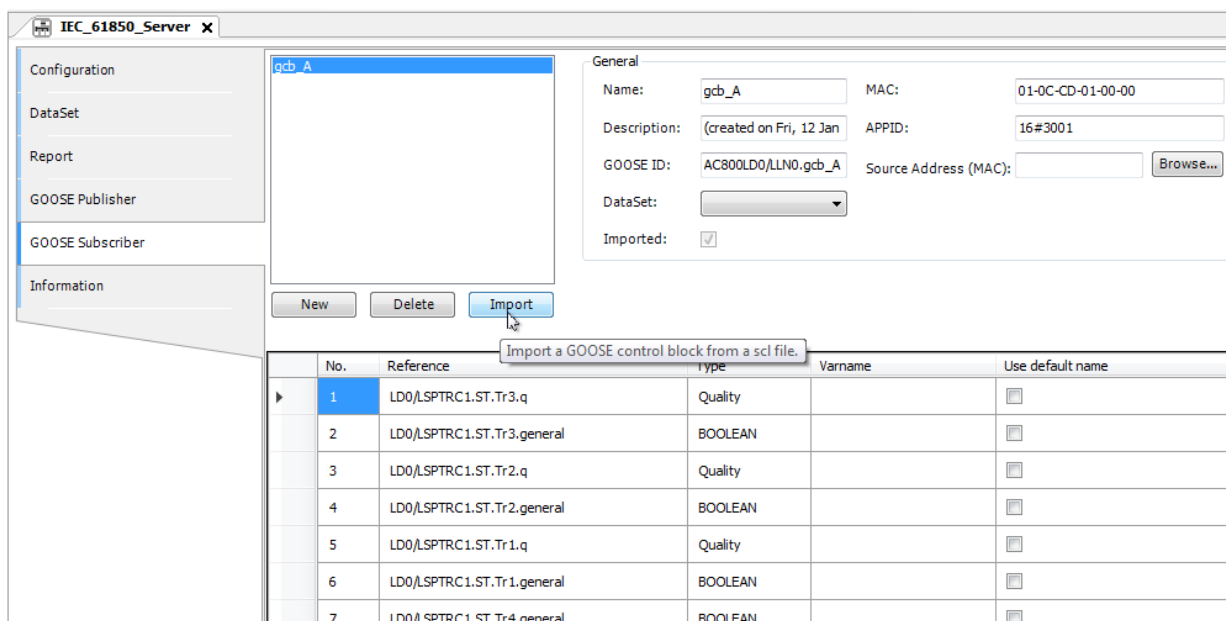
V rámci konceptu náhrady PLC byly využity konfigurační soubory z prostředí Control Builder, IET600 a PCM600 pro nalezení pokud možno optimálního řešení z pohledu časové a realizační náročnosti konfigurace komunikační sítě. Z důvodu nekompatibility těchto prostředí s PLC AC500 musí být ucelená konfigurace komunikace výstupem z prostředí Automotion Builder. Do tohoto prostředí je však možné nahrávat soubory ze zmíněných prostředí. Specifikace produktového balíčku IEC 61850 Server uvádí možnost realizace komunikace typu jak GOOSE, tak MMS. Z tohoto důvodu proběhla implementace obou typů komunikace a následné testování funkčnosti.

Již během samotné implementace protokolu MMS byly postupně zjištěny dva závažné nedostatky. Prvním z těchto nedostatků byl fakt, že implementace protokolu MMS staví PLC AC500 do role serveru, nikoli klienta. To znamená, že mezi těmito zařízeními nemůže probíhat žádná komunikace. Zjištěný nedostatek byl následně potvrzen i technickou podporou pro vývojové prostředí Automotion Builder.

Druhý zjištěný nedostatek během implementace komunikace typu MMS je přímo vázán na základní konfigurační soubor pro ochranu REF615, který je pro komunikaci typu MMS vyžadován obdobně, jako tomu bylo v předchozím případě. Tato ochrana a stejně tak i většina ostatních IED ochran, především z produktové řady Relion výrobce ABB, obsahují tři základní logická zařízení, viz kapitola 5.1. Nicméně prostředí Automotion Builder s tímto předpokladem nepočítá a umožňuje vytvoření nejvýše jednoho logického zařízení pro zařízení fyzické. Důsledkem bylo narušení struktury ochrany REF615 během nahrávání. Možnost ověření, zda by mohla proběhnout komunikace alespoň s jedním logickým zařízením ochrany REF615 byla znemožněna prvním zmíněným nedostatkem pro komunikaci typu MMS.

V následujícím kroku bylo překročeno k implementaci komunikace typu GOOSE. Pro tento typ komunikace byl opět využit soubor s ucelenou konfigurací sítě, který obsahuje datové objekty pro komunikaci typu

GOOSE. Cílem bylo namapování těchto objektů do vnitřních proměnných PLC AC500, které tímto převezme původní zprávy pro PLC AC800M. Tento krok proběhl bez problémů s kompatibilitou a je doložen snímkem obrazovky na Obr. 40.



Obr. 40 – Ukázka mapování signálů z komunikace typu GOOSE do prostředí Automotion Builder

Po nahrání programu obsahující implementovanou komunikaci GOOSE do PLC AC500 proběhlo ověřování funkčnosti této komunikace v síti složené z PLC AC500, ochrany REF615 a komunikačního switchu. Vzhledem ke způsobu komunikace GOOSE proběhlo ověření komunikace sledováním vnitřních proměnných PLC AC500 za současné manipulace s ochranou REF615. Během tohoto procesu bylo zjištěno, že nedochází k přenosu informací mezi ochranou REF615 a PLC AC500. I tento nedostatek byl reportován na technickou podporu pro vývojové prostředí Automotion Builder, ovšem do termínu odevzdání této práce se nepodařilo vyřešit vzniklé problémy.

8 Závěr

Hlavní úlohou této diplomové práce byl návrh a realizace komunikační sítě takovým způsobem, aby především umožňovala komunikaci mezi vybranou IED ochranou a řídicím systémem. Během vypracovávání této práce byly uplatněny poznatky získané během studia na VŠB-TU v Ostravě.

Výstupem této práce je plně funkční řešení složené z ochrany REF615 a PLC AC800M, které si navzájem vyměňují informace komunikačním protokolem IEC 61850. Vzniklá síť je zároveň vybavena uživatelským rozhraním pro vzdálené ovládání, monitorování a archivaci dat.

Volbou jednotlivých prvků vznikla kompaktní a snadno přenositelná soustava, která je vhodná nejen pro účely školení, ale také pro realizaci méně náročných řešení, popř. pro prvotní kroky realizace. Toto řešení bude využito firmou ABB pro školení svých zaměstnanců v oblastech práce s vlastní produktovou řadou ochrany Relion a dále návrhu a realizace komunikační sítě IEC 61850.

Produkty, ze kterých se skládá výsledné řešení, je velice finančně náročné, zejména použitím HW architektury PLC AC800M. Druhou významnou nevýhodou této práce je značná složitost postupu realizace ucelené konfigurace sítě, neboť je zde vyžadována práce s pěti vývojovými prostředími. Z těchto dvou důvodů vznikl koncept náhrady PLC AC800M za PLC AC500. Cílem bylo snížení nákladů za použitou HW architekturu PLC a současně náhrada dvou prostředí (Control Builder a IET600) za jediné (Automation Builder). Nicméně tento koncept nepřinesl žádné pozitivní výsledky vzhledem ke značným nedostatkům prostředí Automation Builder během realizace této diplomové práce.

Během závěrečného zpracovávání této diplomové práce a současně několik měsíců po oficiálním vydání prostředí Automation Builder s verzí 2.1.2 včetně balíčku IEC 61850 Server byly nedostatky uvedené v kapitole 7.1 opraveny výrobcem. Technická podpora tohoto produktu deklaruje, že korekce nedostatků zpřístupnila nejen požadovanou komunikaci mezi IED ochranou a řídicím systémem, ale také mezi různými řídicími systémy navzájem. Vzhledem k termínu odevzdání této diplomové práce však nedošlo k ověření zmíněných korekcí a tím k úspěšnému navázání komunikace mezi ochranou REF615 a PLC AC500.

Literatura

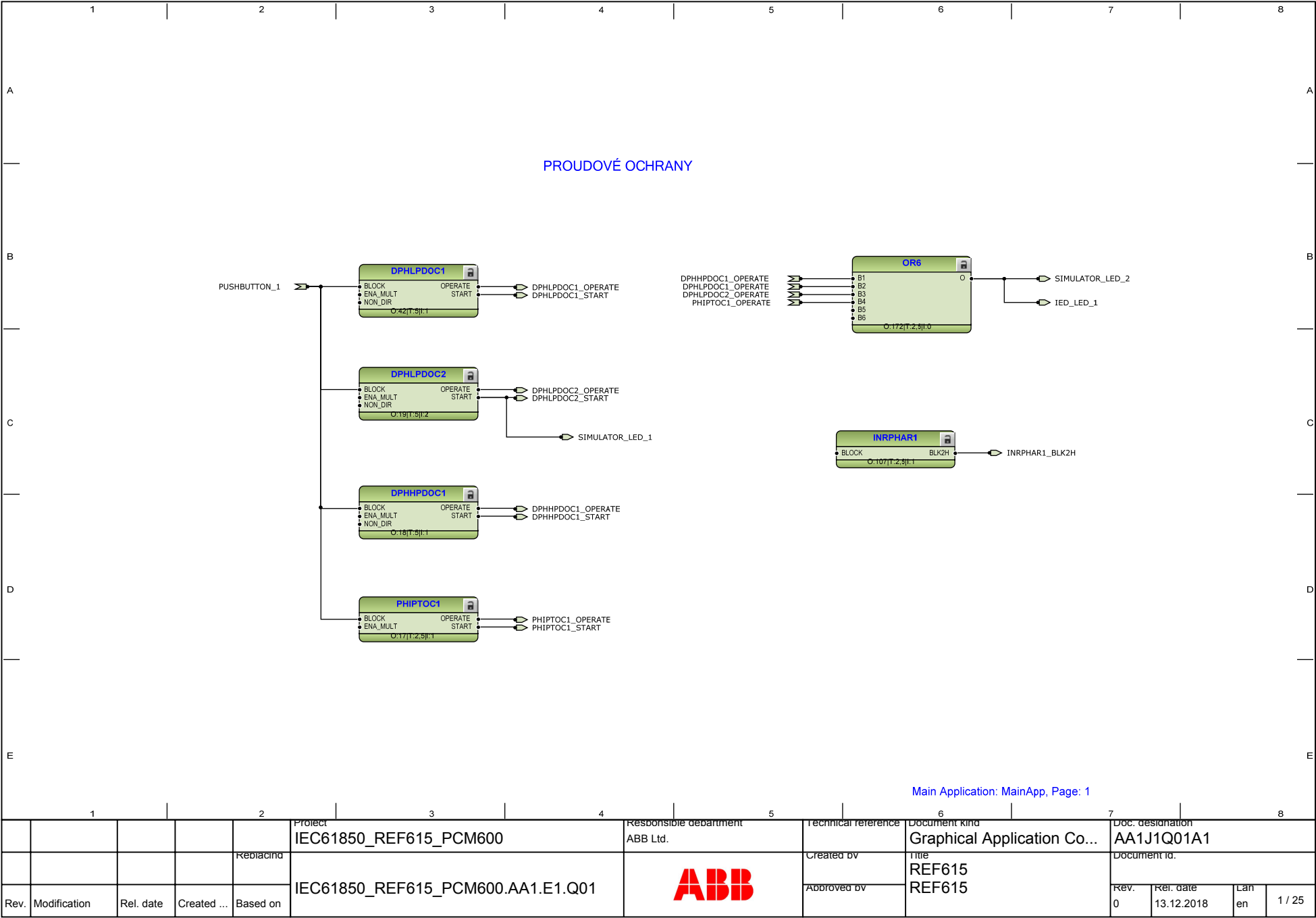
- [1] OLŠANSKÝ, Oldřich. *Elektrické ochrany: Postgraduální studium* [online]. [cit. 2018-09-24]. Dostupné z: http://feil.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/soes/OCHRANY.pdf. Učební texty. VŠB-TU Ostrava.
- [2] DINI, David A. *Electrical Wiring History* [online]. Underwriters Laboratories Inc, 2006 [cit. 2018-09-24]. Dostupné z: <https://www.scribd.com/doc/18355180/Electrical-Wiring-History>.
- [3] NELSON, Jeffrey H. *History of Circuit Breaker Standards: Principal Electrical Engineer* [online]. Pittsburgh, 2008 [cit. 2018-09-24]. Dostupné z: http://www.ewh.ieee.org/soc/pes/switchgear/presentations/tp_files/2008-GM_Tutorial_1_Nelson.pdf. IEEE.
- [4] HUDEC, Jiří. *Návrh chránění malé vodní elektrárny* [online]. Brno, 2011 [cit. 2018-09-24]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39710. Bakalářská práce. VUT v Brně.
- [5] MIŠÁK, Stanislav. *Funkce číslicových ochran* [online]. Ostrava [cit. 2018-09-24]. Dostupné z: http://www.stanislav-misak.com/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=21:ms1&id=4:model-site&Itemid=1044. Učební texty. VŠB TU Ostrava
- [6] MUZZAMMEL, Raheel. *Intelligent Electronic Devices* [online]. Láhaur, Pákistán [cit. 2018-09-25]. Dostupné z: http://www.academia.edu/1739791/Intelligent_Electronic_Devices. UET Láhaur.
- [7] STUTVOET, Hans. Intelligent Electronic Device. *SVRI* [online]. 30. 9 2014 [cit. 2018-09-25]. Dostupné z: <https://www.svri.nl/en/intelligent-electronic-device-ied/>
- [8] HOR, Ching-Lai a Peter A. CROSSLEY. *Knowledge Extraction from Intelligent Electronic Devices* [online]. 2005 [cit. 2018-09-25]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/496e/e47d44950af08f20b1d0f70c6d2a47dc8a70.pdf>. QUBelfastaLULeicestershire.
- [9] KOZIOREK, Jiří. *Programovatelné automaty a vizualizace řídicích systémů* [online]. Ostrava, 2012. Učební text. VŠB-TU Ostrava.
- [10] KOZIOREK, Jiří. *Distribuované systémy řízení* [online]. Ostrava, 2011. Učební text. VŠB-TU Ostrava.
- [11] ZEŽULKA, František. *Průmyslová automatizace: Teze přednášky k profesorskému jmenovacímu řízení* [online]. Brno, 2000 [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: <http://www.vutium.vutbr.cz/tituly/pdf/ukazka/80-214-1634-3.pdf>. Učební text. VUT v Brně.
- [12] OŽANA, Štěpán. *Kybernetika* [online]. Ostrava, 2016. Výukový text. VŠB TU Ostrava.
- [13] MERTLÍK, Daniel. *Průmyslové komunikační sítě pro automatizaci* [online]. Brno, 2010 [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/17572/2010_BP_Mertlik_Daniel_110376.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. VUT v Brně.
- [14] MAHALIK, N. P. *Fieldbus technology: industrial network standards for real-time distributed control*. 1. New York: Springer, 2003. ISBN isbn3-540-40183-0.

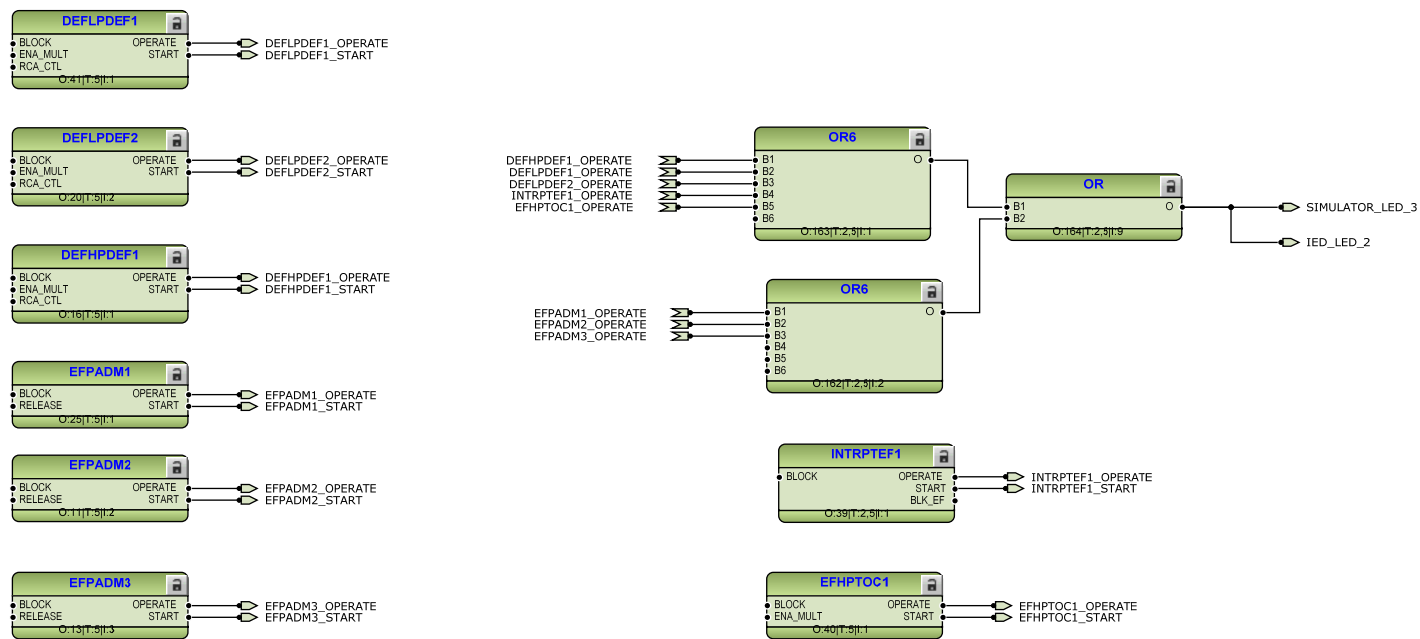
- [15] IEC 61158-1. *Industrial communication networks - Fieldbus specifications: Overview and guidance for the IEC 61158 and IEC 61784 series*. Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2014.
- [16] IEC61784-1. *Industrial communication networks - Profiles:: Fieldbus profiles*. Fourth edition. Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2014.
- [17] PEKÁREK, Dominik. *Popis a testování komunikačních protokolů normy IEC 60870-5103 a 60870-5-104* [online]. Brno, 2017 [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=172921. Diplomová práce. VUT v Brně.
- [18] STUDENÝ, Radim. *Simulátor komunikace protokolů SCADA* [online]. Brno, 2018 [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=172921. Diplomová práce. VUT v Brně.
- [19] IEC 61850-1. *Communication networks and systems for power utility automation: Introduction and overview*. Second edition. Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2013.
- [20] OPC FOUNDATION. OPC Classic. *OPC Foundation* [online]. [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-classic/>.
- [21] ZEŽULKA, František. Úvod do problematiky a základní modely Industry 4.0. *System online* [online]. 2017 [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://m.systemonline.cz/rizeni-vyroby/uvod-do-problematiky-a-zakladni-modely-industry-4.0.htm>.
- [22] ABB. *IEC 61850 Engineering Guide: 615 series* [online]. In: . Ostrava: ABB, 2016 [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1MRS756475&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>.
- [23] ABB. *System 800xA Engineering Workflow* [online]. In: . Ostrava: ABB, 2014 [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: https://library.e.abb.com/public/8b8cfd753a9f2137c1257dc10038a3e5/9ARD171384-600_-_en_System_800xA_6.0_IEC_61850_Engineering_Workflow.pdf.
- [24] ABB. *Automation Builder 2.1.2* [online]. In: . Ostrava: ABB, 2018 [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107046A5059&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>.
- [25] ABB. *Compact Control Builder AC800M 5.1* [online]. In: . Ostrava: ABB [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: https://library.e.abb.com/public/4d2a7ed73125acccc12578570041e9a7/3BSE044222-510_-_en_Compact_800_Engineering_Compact_Control_Builder_AC_800M_5.1_Planning.pdf.


Seznam příloh

- 1 Konfigurace aplikace ochrany REF615.
- 2 Vysvětlivky k použitým funkčním blokům v konfiguraci aplikace ochrany REF615.
- 3 Detailní specifikace datového obsahu v komunikaci protokolem IEC 61850.
- 4 Historický trend s naměřenými daty ve vývojovém prostředí 800xA.

Příloha č. 1: Konfigurace aplikace ochrany REF615.





1		2		3		4		5		6		7		8	
				Project	IEC61850_REF615_PCM600			Responsible department	ABB Ltd.		Technical reference	Document kind		Doc. designation	
				Replacement	IEC61850_REF615_PCM600.AA1.E1.Q01					Created by	Title		Document ID		
Rev.	Modification	Rel. date	Created ...	Based on						Approved by	REF615 REF615		<div> <div>Rev.</div> <div>0</div> </div> <div> <div>Rel. date</div> <div>13.12.2018</div> </div> <div> <div>Lang</div> <div>en</div> </div> <div> <div></div> <div>2 / 25</div> </div>		

The diagram illustrates the functional blocks and their interconnections for protection against unbalance. It is organized into four horizontal sections labeled A, B, C, and D.

- Section A:** Contains the title "OCHRANY PROTI NEVYVÁŽENOSTEM" (Protection against unbalance) in blue text.
- Section B:**
 - NSPTOC1** block (O.43/I.5/I.1) has inputs BLOCK and ENA_MULT, and outputs OPERATE and START. Its OPERATE output is connected to NSPTOC1_OPERATE, and its START output is connected to NSPTOC1_START.
- Section C:**
 - NSPTOC2** block (O.44/I.5/I.2) has inputs BLOCK and ENA_MULT, and outputs OPERATE and START. Its OPERATE output is connected to NSPTOC2_OPERATE, and its START output is connected to NSPTOC2_START.
 - OR6** block (O.176/I.2.5/I.3) has inputs B1, B2, B3, B4, B5, and B6. It receives NSPTOC1_OPERATE at B1, NSPTOC2_OPERATE at B2, and PDNSPTOC1_OPERATE at B3.
 - PDNSPTOC1** block (O.38/I.5/I.1) has inputs BLOCK and ENA_MULT, and outputs OPERATE and START. Its OPERATE output is connected to PDNSPTOC1_OPERATE, and its START output is connected to PDNSPTOC1_START.
- Section D:**
 - T1PTTR1** block (O.72/I.5/I.1) has inputs BLK_OPR, ENA_MULT, TEMP_AMB, and BLK_CLOSE, and outputs OPERATE, START, ALARM, and BLK_CLOSE. Its OPERATE output is connected to T1PTTR1_OPERATE, its START output is connected to T1PTTR1_START, and its BLK_CLOSE output is connected to T1PTTR1_BLK_CLOSE, which is then connected to IED_LED_5.

1	2	3	4	5	6	7	8


				Project	Responsible department	Technical reference	Document kind	Doc. designation		
				IEC61850_REF615_PCM600	ABB Ltd.		Graphical Application Co...	AA1J1Q01A1		
			Replacing			Created by	Title	Document id.		
							REF615			
Rev.	Modification	Rel. date	Created ...	Based on		Approved by	REF615			
				IEC61850_REF615_PCM600.AA1.E1.Q01				Rev. 0	Rel. date 13.12.2018	Lan en 3 / 25

Diagram illustrating the frequency protection (FREKVENČNÍ OCHRANY) system architecture.

The system consists of three frequency protection modules (FRPFRQ1, FRPFRQ2, FRPFRQ3) and an OR gate (OR6).

FRPFRQ1, FRPFRQ2, and FRPFRQ3 Modules:

- Each module has a **BLOCK** input.
- Each module has a **OPERATE** output.
- Each module has a **START** output.
- Each module has a **ST_OFRO** output.
- Each module has a **ST_UFRO** output.
- Each module has a **ST_FRO** output.

OR6 Module:


- The OR6 module has a **Q** output.
- The OR6 module has a **Q.18** output.
- The OR6 module has a **Q.19** output.
- The OR6 module has a **Q.20** output.
- The OR6 module has a **Q.21** output.
- The OR6 module has a **Q.22** output.
- The OR6 module has a **Q.23** output.
- The OR6 module has a **Q.24** output.
- The OR6 module has a **Q.25** output.
- The OR6 module has a **Q.26** output.
- The OR6 module has a **Q.27** output.
- The OR6 module has a **Q.28** output.
- The OR6 module has a **Q.29** output.
- The OR6 module has a **Q.30** output.
- The OR6 module has a **Q.31** output.
- The OR6 module has a **Q.32** output.
- The OR6 module has a **Q.33** output.
- The OR6 module has a **Q.34** output.
- The OR6 module has a **Q.35** output.
- The OR6 module has a **Q.36** output.
- The OR6 module has a **Q.37** output.
- The OR6 module has a **Q.38** output.
- The OR6 module has a **Q.39** output.
- The OR6 module has a **Q.40** output.
- The OR6 module has a **Q.41** output.
- The OR6 module has a **Q.42** output.
- The OR6 module has a **Q.43** output.
- The OR6 module has a **Q.44** output.
- The OR6 module has a **Q.45** output.
- The OR6 module has a **Q.46** output.
- The OR6 module has a **Q.47** output.
- The OR6 module has a **Q.48** output.
- The OR6 module has a **Q.49** output.
- The OR6 module has a **Q.50** output.
- The OR6 module has a **Q.51** output.
- The OR6 module has a **Q.52** output.
- The OR6 module has a **Q.53** output.
- The OR6 module has a **Q.54** output.
- The OR6 module has a **Q.55** output.
- The OR6 module has a **Q.56** output.
- The OR6 module has a **Q.57** output.
- The OR6 module has a **Q.58** output.
- The OR6 module has a **Q.59** output.
- The OR6 module has a **Q.60** output.
- The OR6 module has a **Q.61** output.
- The OR6 module has a **Q.62** output.
- The OR6 module has a **Q.63** output.
- The OR6 module has a **Q.64** output.
- The OR6 module has a **Q.65** output.
- The OR6 module has a **Q.66** output.
- The OR6 module has a **Q.67** output.
- The OR6 module has a **Q.68** output.
- The OR6 module has a **Q.69** output.
- The OR6 module has a **Q.70** output.
- The OR6 module has a **Q.71** output.
- The OR6 module has a **Q.72** output.
- The OR6 module has a **Q.73** output.
- The OR6 module has a **Q.74** output.
- The OR6 module has a **Q.75** output.
- The OR6 module has a **Q.76** output.
- The OR6 module has a **Q.77** output.
- The OR6 module has a **Q.78** output.
- The OR6 module has a **Q.79** output.
- The OR6 module has a **Q.80** output.
- The OR6 module has a **Q.81** output.
- The OR6 module has a **Q.82** output.
- The OR6 module has a **Q.83** output.
- The OR6 module has a **Q.84** output.
- The OR6 module has a **Q.85** output.
- The OR6 module has a **Q.86** output.
- The OR6 module has a **Q.87** output.
- The OR6 module has a **Q.88** output.
- The OR6 module has a **Q.89** output.
- The OR6 module has a **Q.90** output.
- The OR6 module has a **Q.91** output.
- The OR6 module has a **Q.92** output.
- The OR6 module has a **Q.93** output.
- The OR6 module has a **Q.94** output.
- The OR6 module has a **Q.95** output.
- The OR6 module has a **Q.96** output.
- The OR6 module has a **Q.97** output.
- The OR6 module has a **Q.98** output.
- The OR6 module has a **Q.99** output.
- The OR6 module has a **Q.100** output.

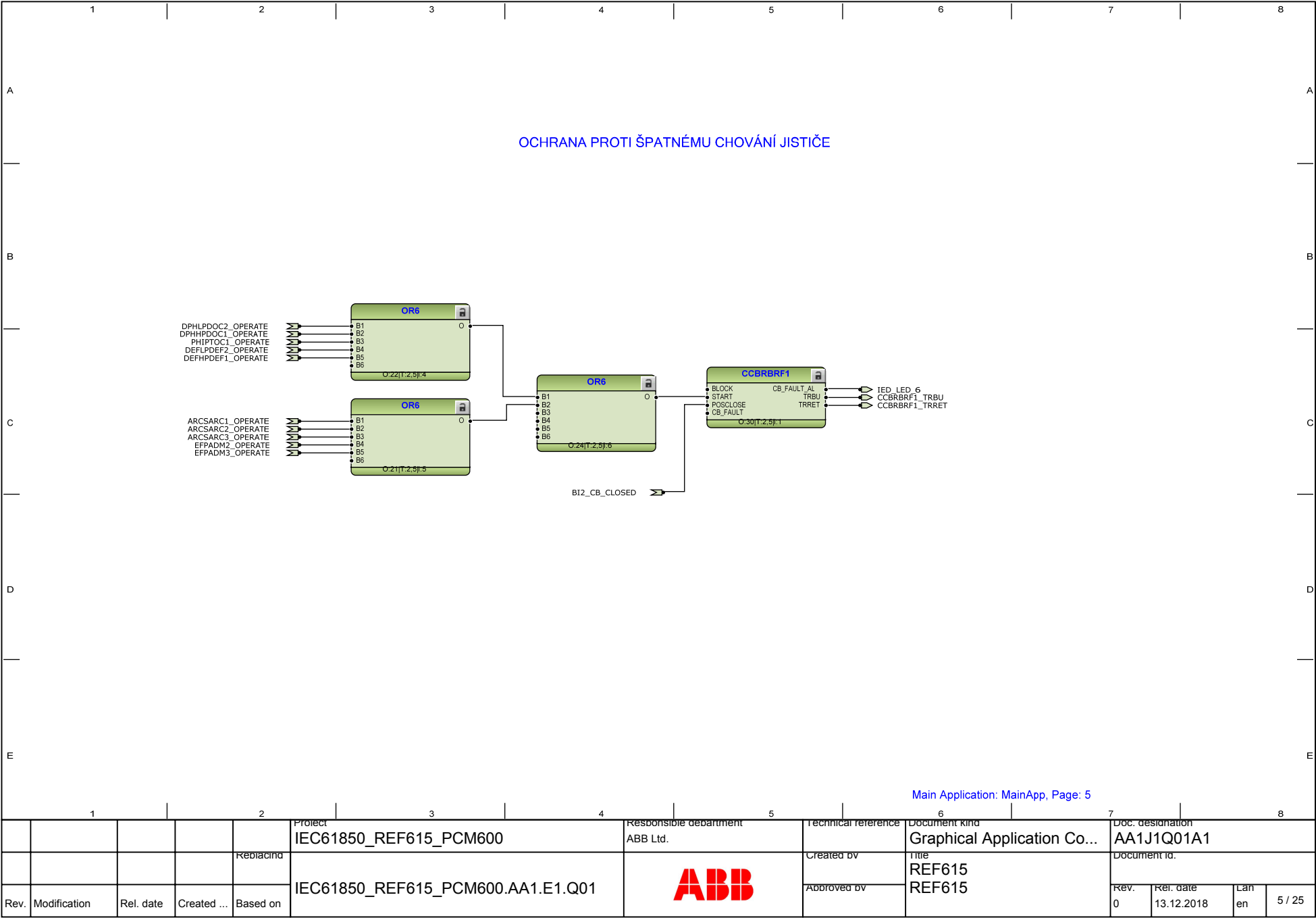
Connections:

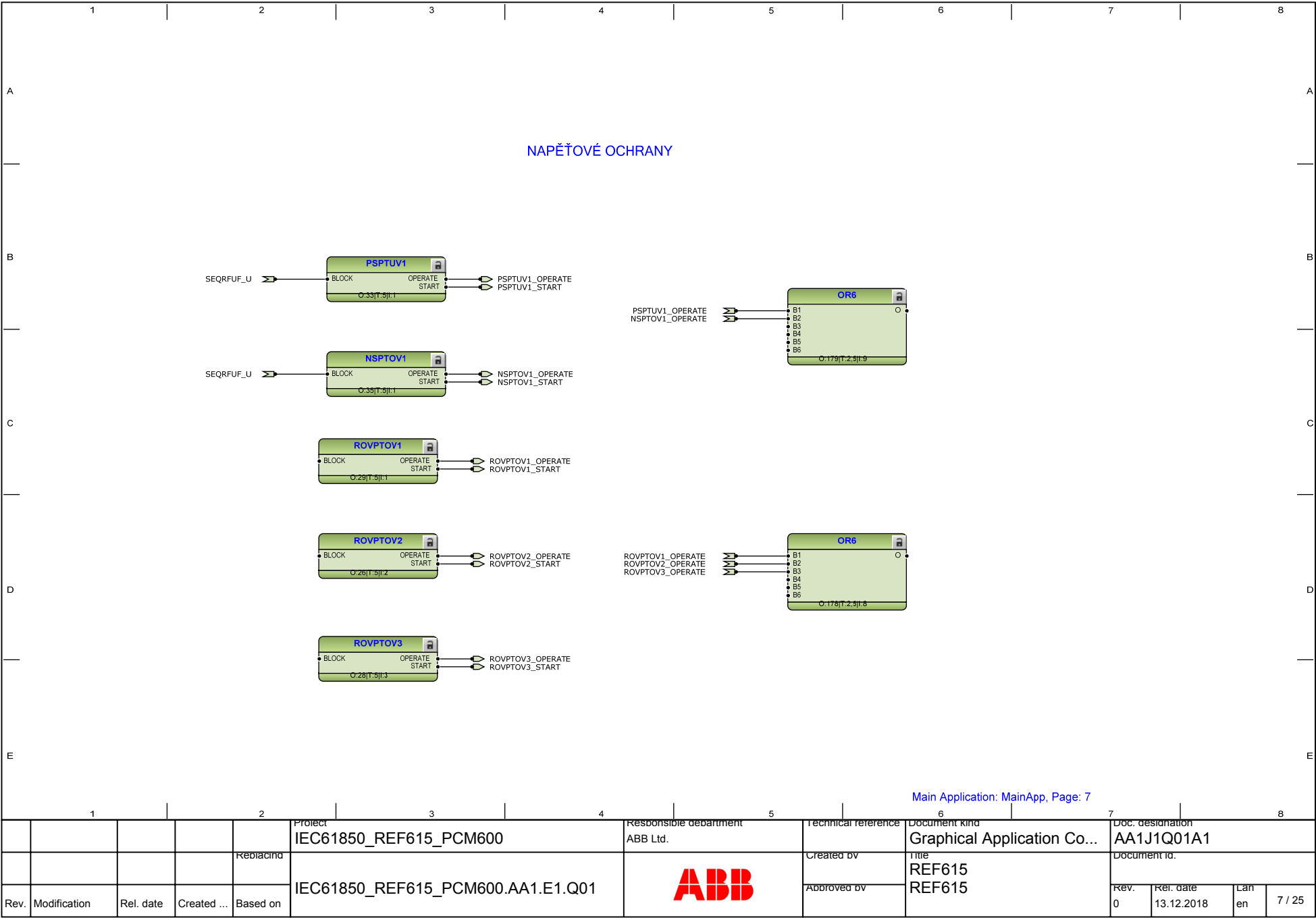
- FRPFRQ1_OPERATE is connected to FRPFRQ2_OPERATE.
- FRPFRQ2_OPERATE is connected to FRPFRQ3_OPERATE.
- FRPFRQ3_OPERATE is connected to OR6.
- FRPFRQ1_START is connected to FRPFRQ2_START.
- FRPFRQ2_START is connected to FRPFRQ3_START.
- FRPFRQ3_START is connected to OR6.
- FRPFRQ1_ST_OFRO is connected to FRPFRQ2_ST_OFRO.
- FRPFRQ2_ST_OFRO is connected to FRPFRQ3_ST_OFRO.
- FRPFRQ3_ST_OFRO is connected to OR6.
- FRPFRQ1_ST_UFRO is connected to FRPFRQ2_ST_UFRO.
- FRPFRQ2_ST_UFRO is connected to FRPFRQ3_ST_UFRO.
- FRPFRQ3_ST_UFRO is connected to OR6.
- FRPFRQ1_ST_FRO is connected to FRPFRQ2_ST_FRO.
- FRPFRQ2_ST_FRO is connected to FRPFRQ3_ST_FRO.
- FRPFRQ3_ST_FRO is connected to OR6.

Legend:

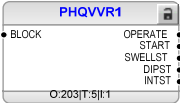
- FRPFRQ1_OPERATE
- FRPFRQ2_OPERATE
- FRPFRQ3_OPERATE
- FRPFRQ1_START
- FRPFRQ2_START
- FRPFRQ3_START
- FRPFRQ1_ST_OFRO
- FRPFRQ2_ST_OFRO
- FRPFRQ3_ST_OFRO
- FRPFRQ1_ST_UFRO
- FRPFRQ2_ST_UFRO
- FRPFRQ3_ST_UFRO
- FRPFRQ1_ST_FRO
- FRPFRQ2_ST_FRO
- FRPFRQ3_ST_FRO

					Project IEC61850_REF615_PCM600	Responsible department ABB Ltd.	Technical reference	Document kind Graphical Application Co...	Doc. designation AA1J1Q01A1			
				Rebranding			Created by	Title REF615 REF615	Document id.			
Rev.	Modification	Rel. date	Created ...	Based on	IEC61850_REF615_PCM600.AA1.E1.Q01		Approved by		Rev. 0	Rel. date 13.12.2018	Language en	4 / 25




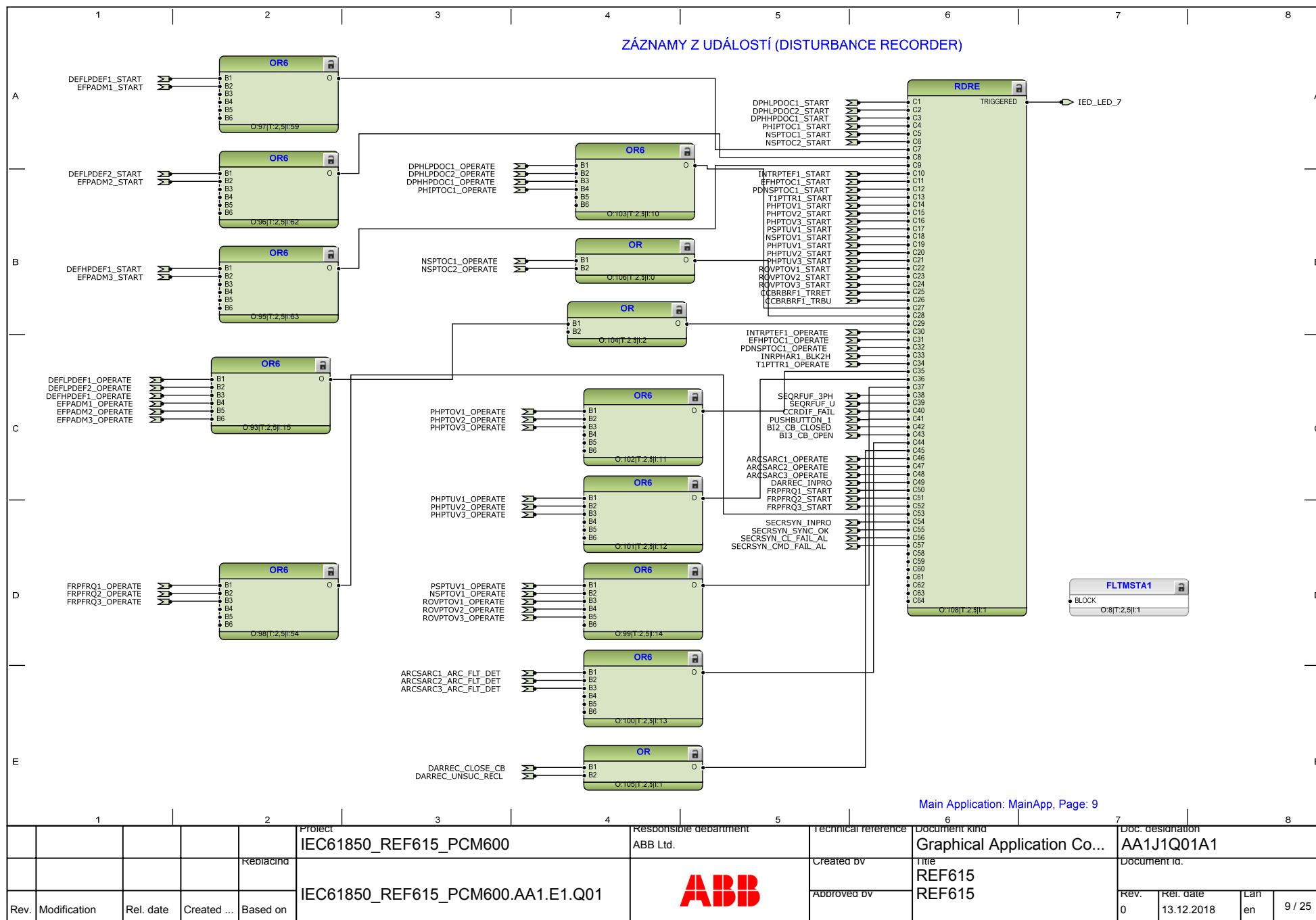


FUNKCE PRO MĚŘENÍ KVALITY VÝKONU - NEPOUŽITÉ



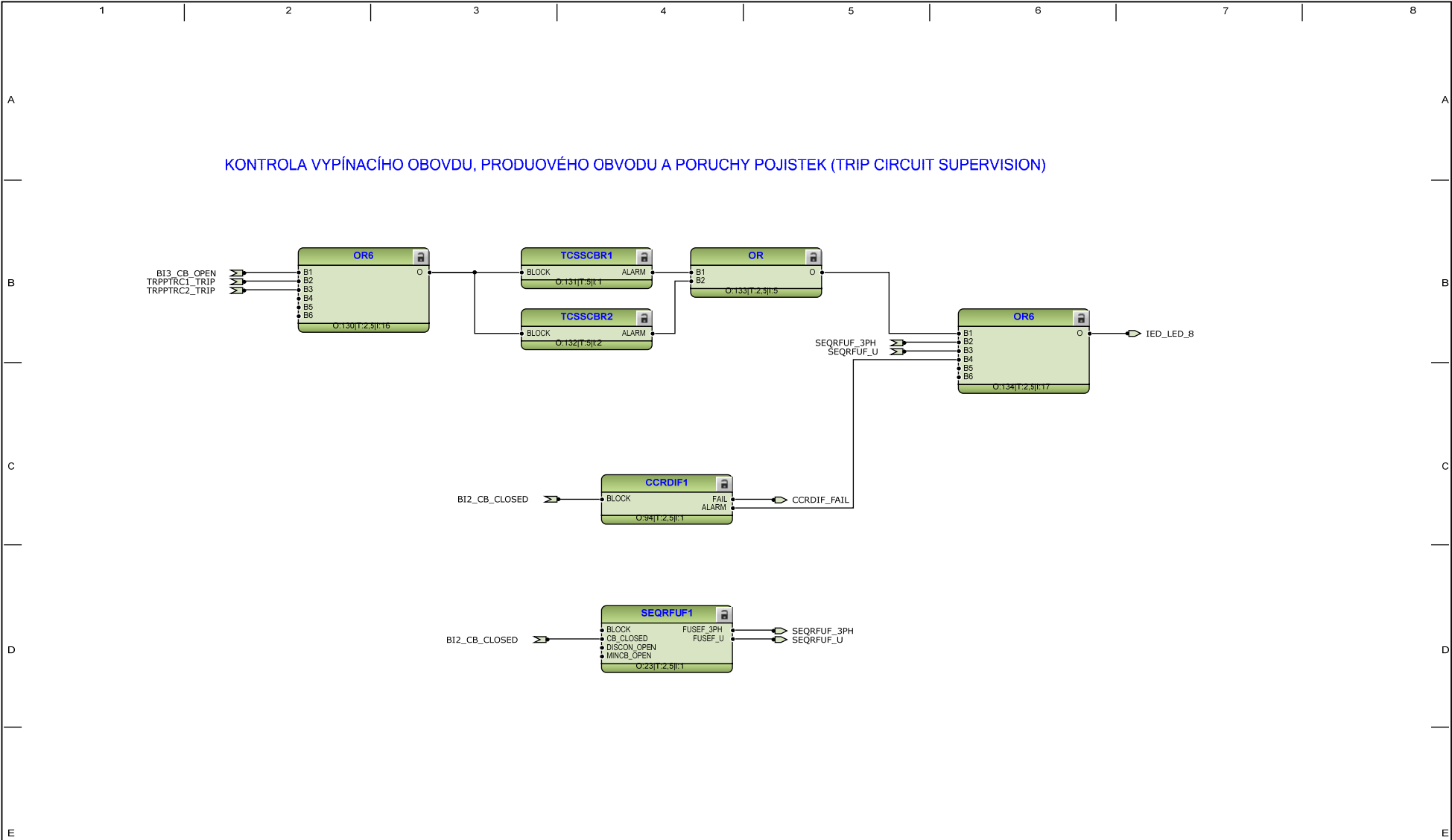
Main Application: MainApp, Page: 8

1		2		3		4		5		6		7		8	
				Project		Responsible department		Technical reference		Document kind		Doc. designation			
		Replacing		IEC61850_REF615_PCM600		ABB Ltd.				Graphical Application Co...		AA1J1Q01A1			
				IEC61850_REF615_PCM600.AA1.E1.Q01				Created by		Title		Document id.			
Rev.		Modification		Rel. date		Created ...		Approved by		REF615		REF615		Rev.	
												0		13.12.2018	
												en		8 / 25	



Main Application: MainApp, Page: 9

1	2	3	4	5	6	7	8
		Project	Responsible department	Technical reference	Document kind	Doc. designation	
		IEC61850_REF615_PCM600	ABB Ltd.		Graphical Application Co...	AA1J1Q01A1	
		Relating to		Created by	REF615	Document id.	
		IEC61850_REF615_PCM600.AA1.E1.Q01		Approved by	REF615		
Rev.	Modification	Rel. date	Created ...	Based on		Rev.	Rel. date
						0	13.12.2018
						en	9 / 25



1

2

3

4

5

6

7

8

Project

Responsible department

Technical reference

Document kind

Doc. designation

IEC61850_REF615_PCM600

ABB Ltd.

Graphical Application Co...

AA1J1Q01A1

Replacing

Created by

Title

Document id.

IEC61850_REF615_PCM600.AA1.E1.Q01

ABB

REF615

REF615

Rev.

Modification

Rel. date

Created ...

Based on

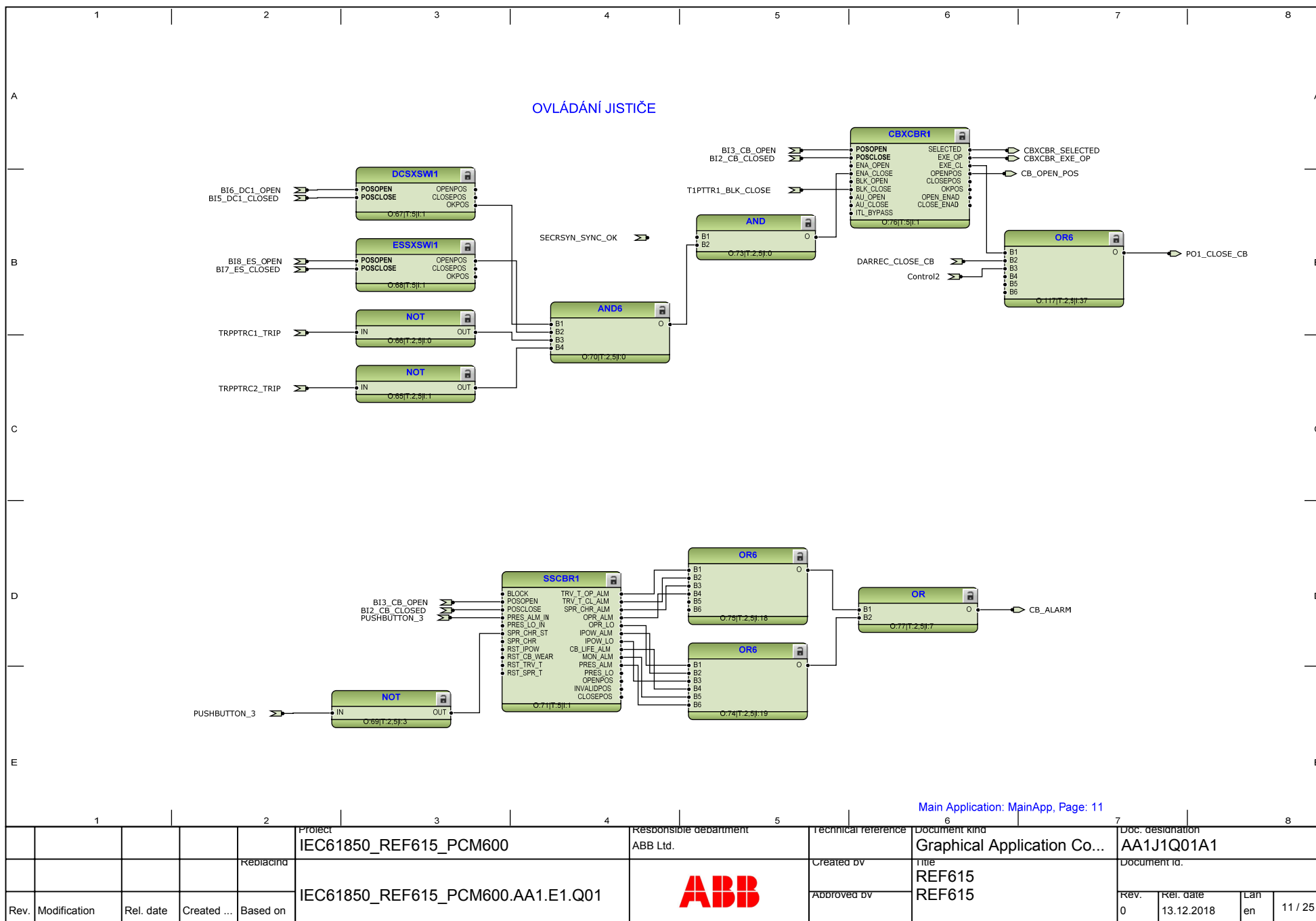
0

13.12.2018

en

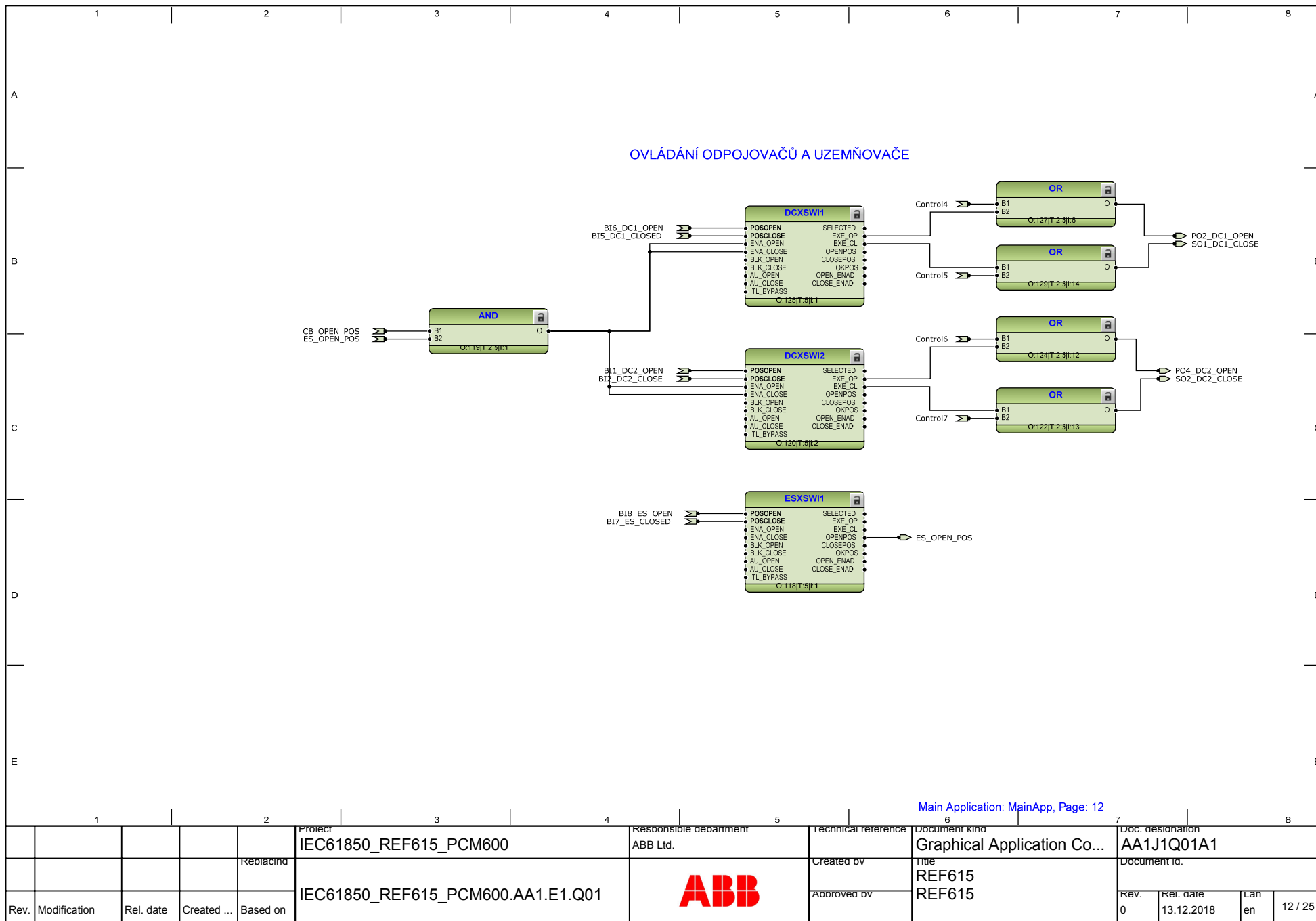
10 / 25

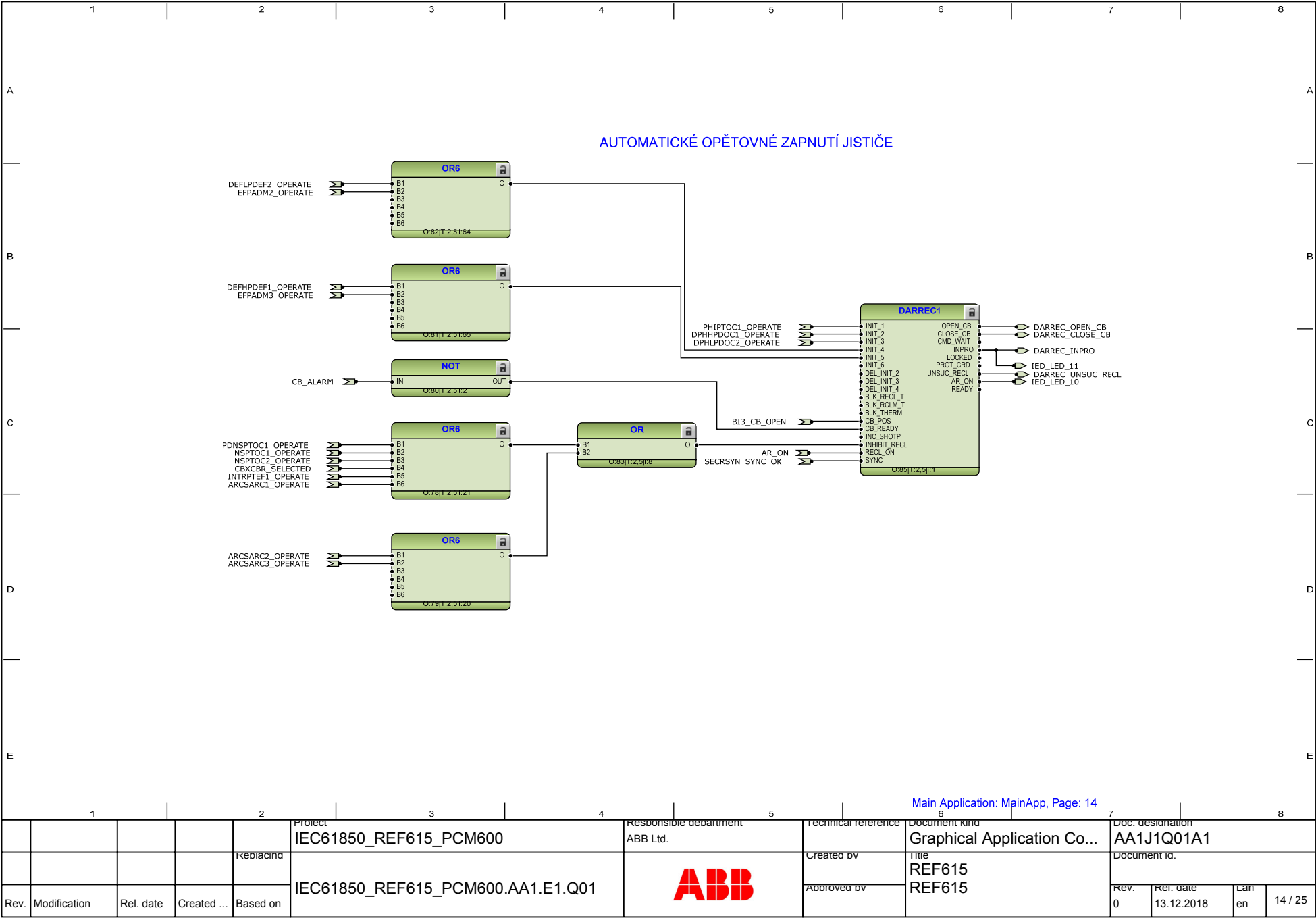
Main Application: MainApp, Page: 10




Main Application: MainApp, Page: 11

1	2	3	4	5	6	7	8
		Project	IEC61850_REF615_PCM600	Responsible department	ABB Ltd.	Technical reference	Document kind
		Relating	IEC61850_REF615_PCM600.AA1.E1.Q01			Created by	Graphical Application Co...
						Approved by	REF615
Rev.	Modification	Rel. date	Created ...	Based on			Document id.
							Rev. 0
							Rel. date 13.12.2018
							Lan en
							11 / 25





Main Application: MainApp, Page: 14

					Project IEC61850_REF615_PCM600	Responsible department ABB Ltd.	Technical reference	Document kind Graphical Application Co...	Doc. designation AA1J1Q01A1			
				Reclading	IEC61850_REF615_PCM600.AA1.E1.Q01		Created by	Title REF615 REF615	Document id.			
Rev.	Modification	Rel. date	Created ...	Based on			Approved by		Rev. 0	Rel. date 13.12.2018	Language en	14 / 25

SECRSYN1

- BLOCK
- CL_COMMAND
- BYPASS
- SYNC_INPRO
- SYNC_OK
- CL_FAIL_AL
- CMD_FAIL_AL
- LLDB
- DLLB
- DLDB

O.84T.5j.1


SECRSYN_INPRO

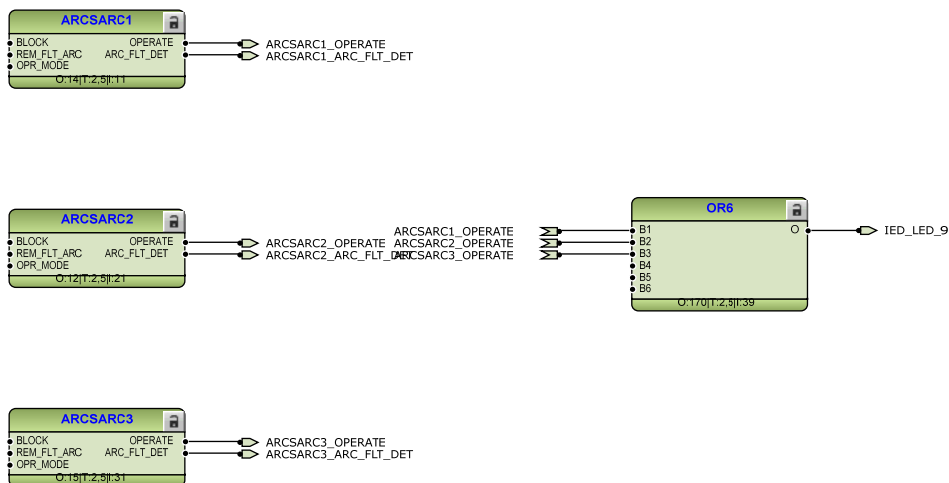
SECRSYN_SYNC_OK


SECRSYN_CL_FAIL_AL

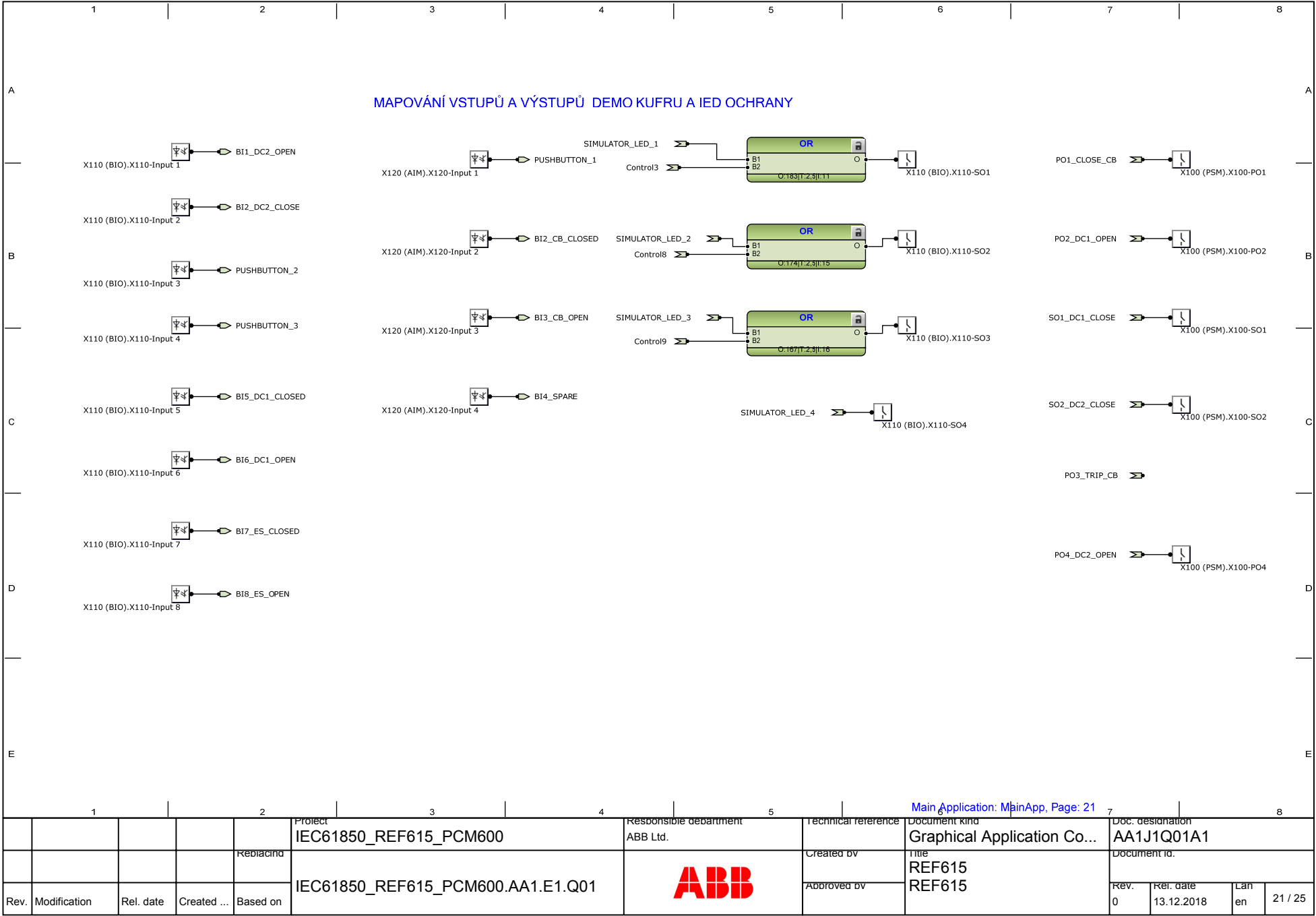
SECRSYN_CMD_FAIL_AL

Main Application: MainApp, Page: 15

1		2		3		4		5		6		7		8	
				Project	IEC61850_REF615_PCM600	Responsible department	ABB Ltd.	Technical reference	Document kind	Graphical Application Co...		Doc. designation AA1J1Q01A1			
				Replacing				Created by	Title	REF615		Document id.			
Rev.	Modification	Rel. date	Created ...	Based on	IEC61850_REF615_PCM600.AA1.E1.Q01			Approved by	REF615		Rev.	Rel. date	Language	15 / 25	
											0	13.12.2018	en		



				1		2		3		4		5		6		7		8					
					Project	IEC61850_REF615_PCM600				Responsible department		Technical reference		Document kind		Doc. designation							
					Replacing					ABB Ltd.				Graphical Application Co...		AA1J1Q01A1							
						IEC61850_REF615_PCM600.AA1.E1.Q01						Created by		Title		Document id.							
Rev.	Modification	Rel. date	Created ...	Based on					Approved by			REF615		REF615									
																Rev.		Rel. date		Lang		18 / 25	
																0		13.12.2018		en			



12345678

Project

IEC61850_REF615_PCM600

Responsible department

ABB Ltd.

Technical reference

Graphical Application Co...

Document kind

AA1J1Q01A1

Created by

REF615

Approved by

REF615

Rev.

0

Rel. date

13.12.2018

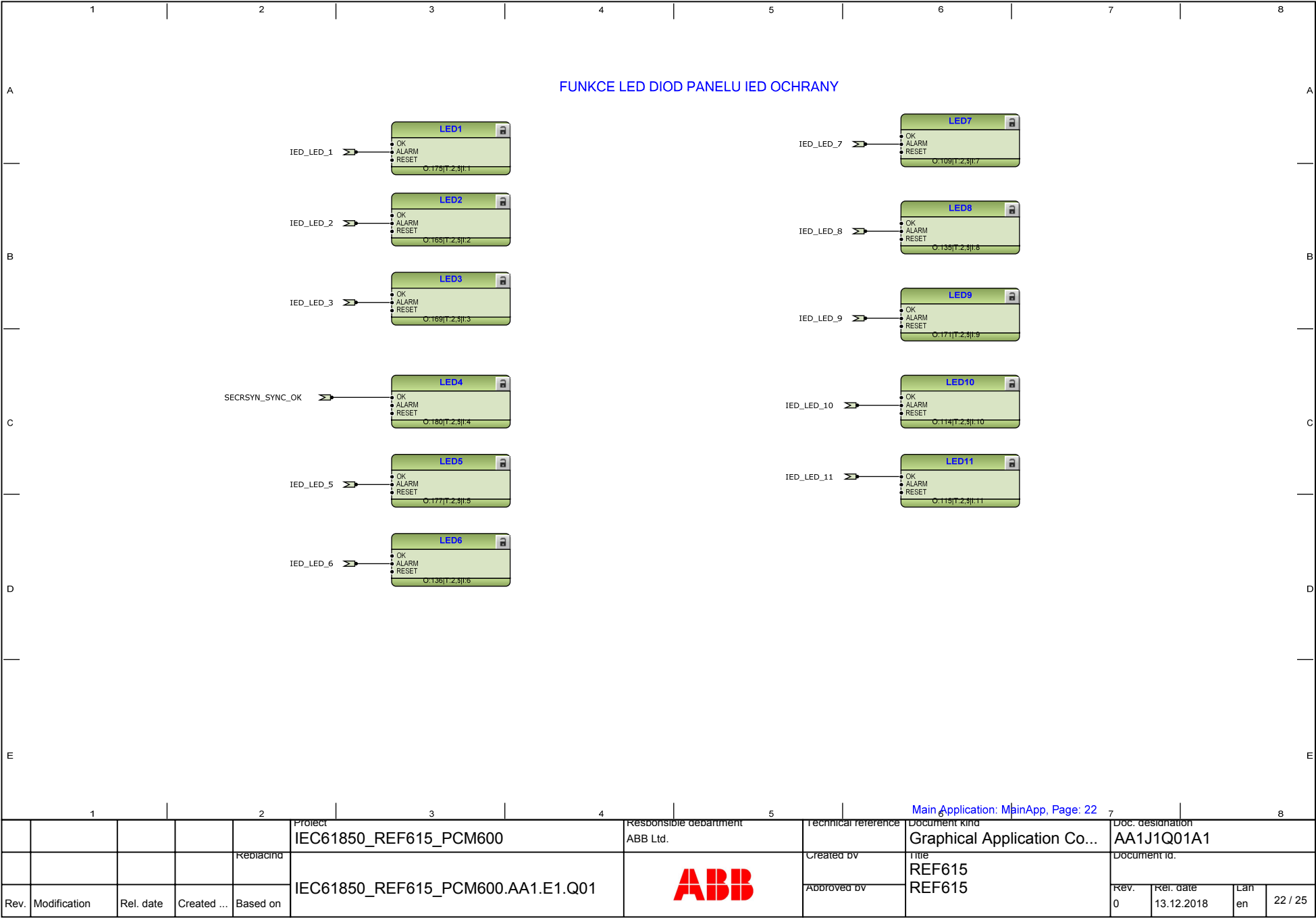
Lang

en

Page

21 / 25





1

2

3

4

5

6

7

8

Rev.

Modification

Rel. date

Created ...

Based on

Project

IEC61850_REF615_PCM600

Replacing

IEC61850_REF615_PCM600.AA1.E1.Q01

Responsible department

ABB Ltd.

ABB

Technical reference

Document kind

Created by

Approved by

Main Application: MainApp, Page: 22

Graphical Application Co...

REF615

REF615

Doc. designation

AA1J1Q01A1

Document id.

Rev.

0

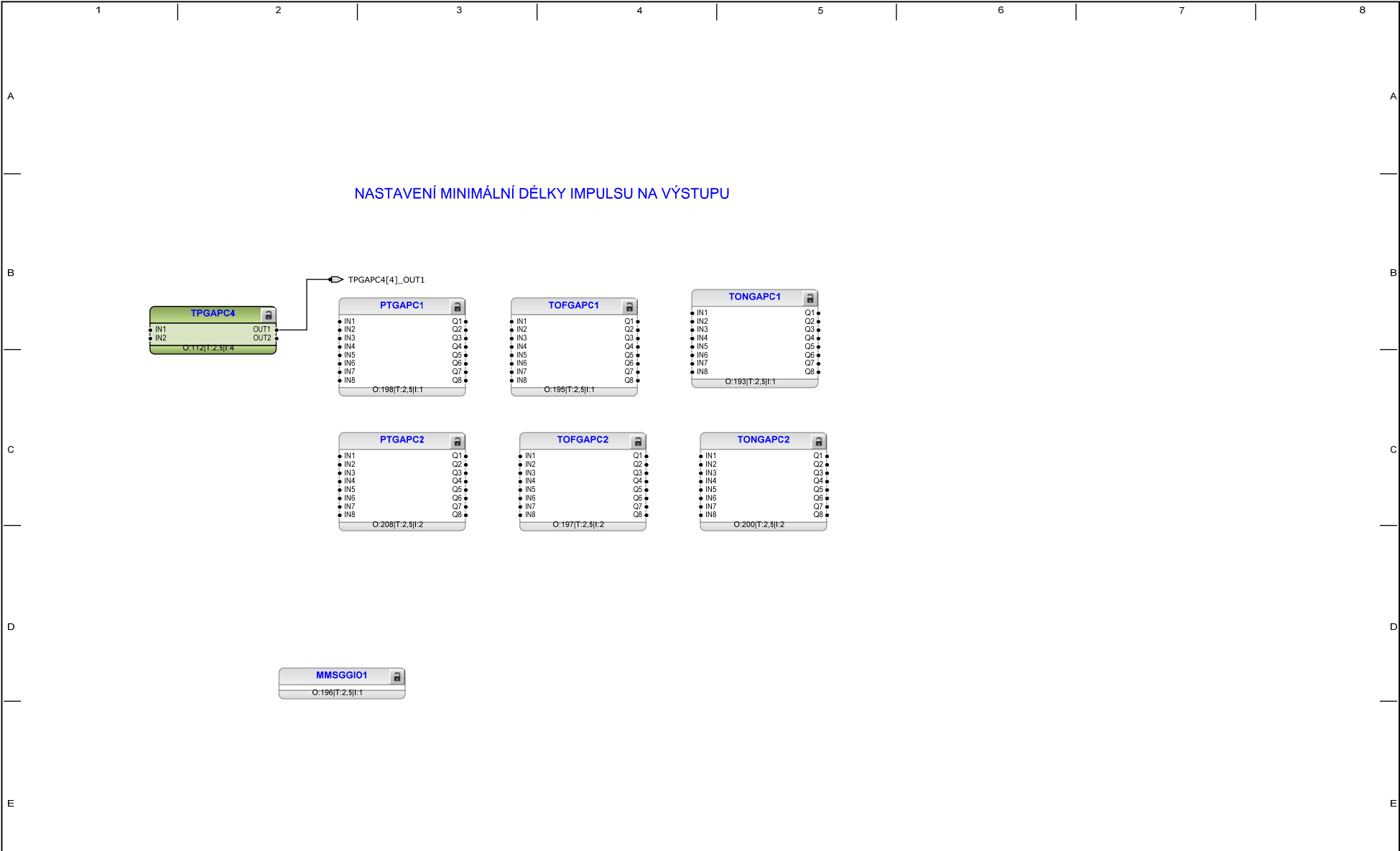
Rel. date


13.12.2018

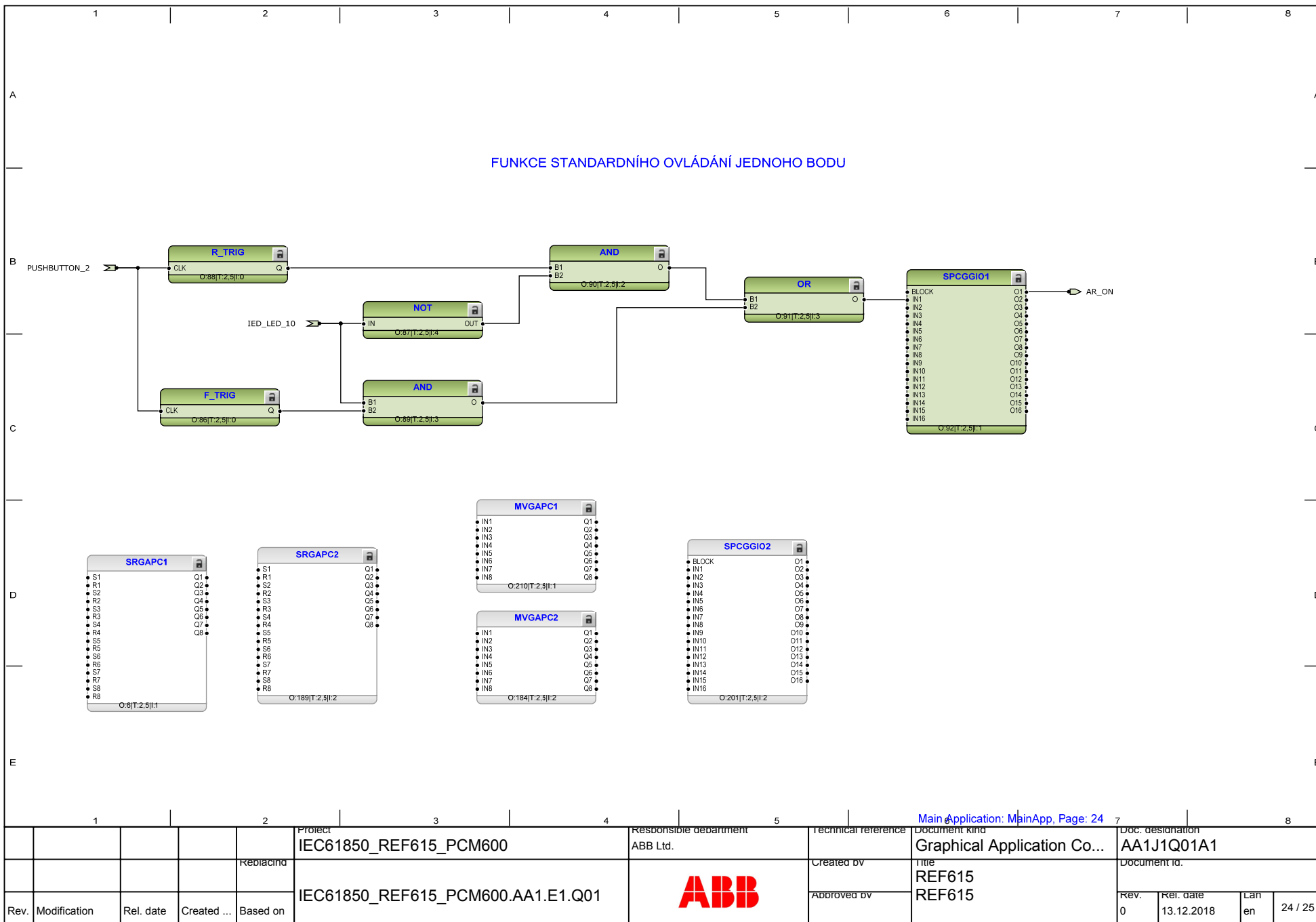
Lan

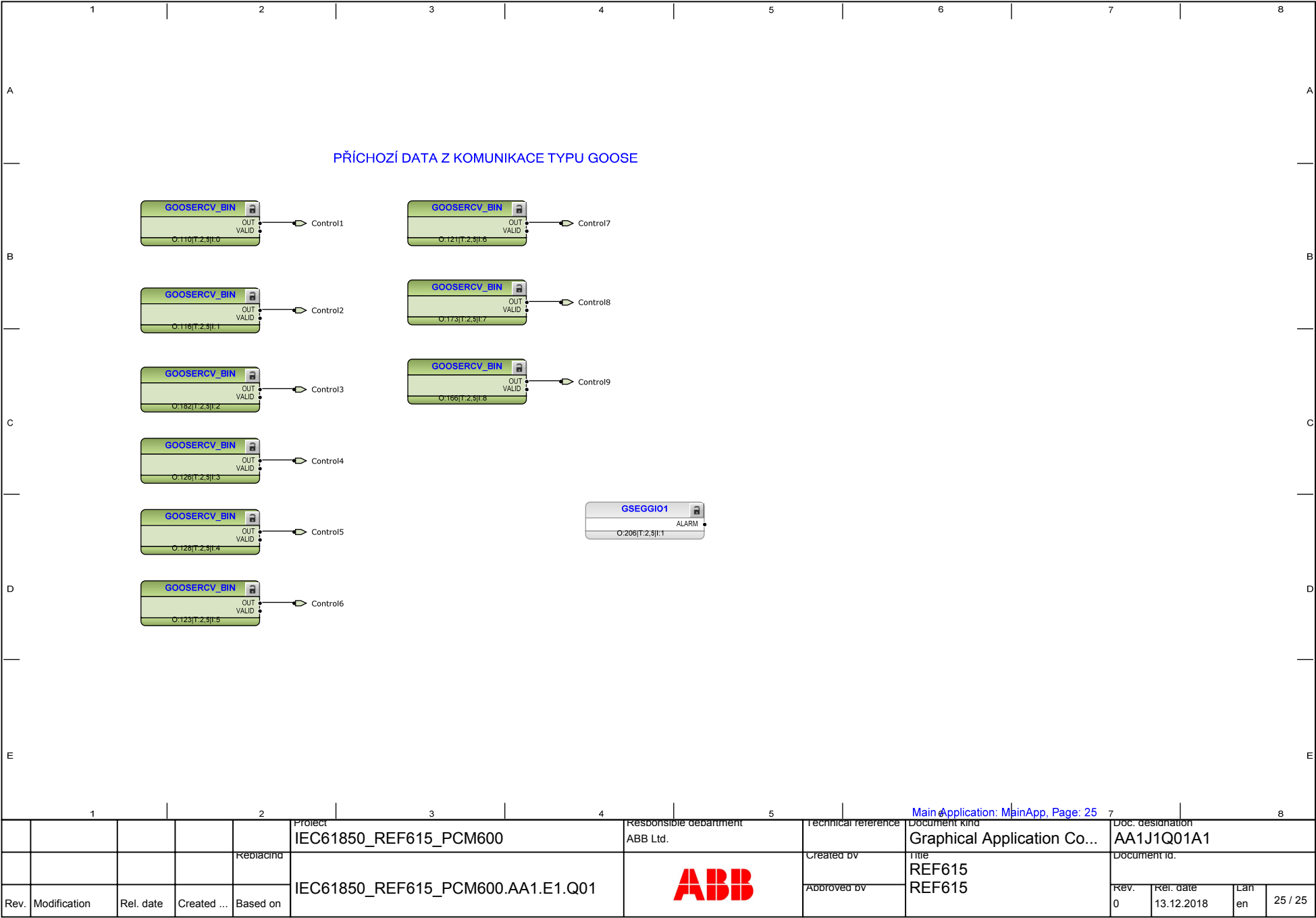
en

22 / 25



1		2		3		4		5		6		7		8		
					Project	IEC61850_REF615_PCM600		Responsible department		Technical reference		Document kind		Doc. designation		
								ABB Ltd.				Graphical Application Co...		AA1J1Q01A1		
				Replacing	IEC61850_REF615_PCM600.AA1.E1.Q01				Created by		Title REF615 REF615		Document id.			
									Approved by							
Rev.	Modification	Rel. date	Created ...	Based on									Rev.	Rel. date	Lang	23 / 25
													0	13.12.2018	en	





Příloha č. 2: Vysvětlivky k použitým funkčním blokům v konfiguraci aplikace ochrany REF615.

ARCSARC vykonává funkci zábleskové ochrany.

CBXCBBR vykonává funkci monitorování provozních podmínek vypínače.

CCBRBRF vykonává funkci ochrany proti chybnému zareagování elektrické ochrany.

CCRDIF vykonává funkci kontroly proudového obvodu.

CMHAI vykonává funkci měření kvality napájení, jedná se o měření harmonického obsahu fázového proudu.

CMMXU vykonává funkci měření třífázového proudu.

CSMSQI vykonává funkci měření složek proudu.

DARREC vykonává funkci automatického opětného zapnutí.

DCSXSXI vykonává funkci indikace polohy odpojovače.

DEFHPDEF vykonává funkci směrové ochrany proti zemnímu spojení, jedná se o vysoký stupeň.

DEFLPDEF vykonává funkci směrové ochrany proti zemnímu spojení, jedná se o nízký stupeň.

DPHHPDOC vykonává funkci třífázové směrové nadproudové ochrany, jedná se vysoký stupeň (vypnutí nadproudů).

DPHLPDOC vykonává funkci třífázové směrové nadproudové ochrany, jedná se nízký stupeň (vyvolání alarmového stavu).

EFHPTOC vykonává funkci ochrany proti zemnímu spojení založené na admitanční metodě.

EFPADM vykonává funkci ochrany proti zemnímu spojení založené na wattmetrické metodě.

ESSXSXI vykonává funkci indikace polohy uzemňovače.

FMMXU vykonává funkci měření frekvence.

FRPFRQ vykonává funkci nadfrekvenční a podfrekvenční ochrany.

INRPHAR vykonává funkci třífázové ochrany proti nadměrnému nárazovému proudu.

INTRPTEF vykonává funkci ochrany proti zemnímu spojení založené na metodě první půl periody pro detekci transientních jevů.

MVGAPC vykonává funkci move.

NSPTOC vykonává funkci nadproudové ochrany proti proudové nevyváženosti.

NSPTOV vykonává funkci ochrany proti negativnímu napětíové nevyváženosti.

PDNSPTOC vykonává funkci ochrany proti fázové diskontinuitě.

PEMMXU vykonává funkci měření třífázového výkonu a energie.

PHIPTOC vykonává funkci třífázové směrové nadproudové ochrany, jedná se nízký stupeň (vypnutí zkratových proudů).

PHPTOV vykonává funkci nadpětíové ochrany.

PHPTUV vykonává funkci podpětíové ochrany.

PHQVVR vykonává funkci ochrany proti nežádoucímu kolísání napětí.

PSPTUV vykonává funkci ochrany proti pozitivnímu napětíové nevyváženosti.

PTGAPC vykonává funkci časování pulsů.

RDRE vytváří záznamy měřených veličin během poruchových stavů.

RESCMMXU vykonává funkci měření nulové (residuální) složky proudu.

RESVMMXU vykonává funkci měření nulové (residuální) složky napětí.

ROVPTOV vykonává funkci residuální nadpětíové ochrany.

SECRSYN vykonává funkci kontroly synchronního a napětíového stavu.

SEQRFUF vykonává funkci kontroly poruchy pojistek (jištění).

SPCGGIO vykonává funkci standardního ovládání jednoho bodu.

SRGAPC vykonává funkci set-reset.

SSCBR vykonává funkci indikace polohy.

T1PTTR vykonává funkci tepelné nadproudové ochrany.

TCSSCBR vykonává funkci kontroly vypínacího obvodu.

TOFGAPC vykonává funkci časového zpoždění (time delay off).

TONGAPC vykonává funkci časového zpoždění (time delay on).

TPGAPC vykonává funkci časového členu pro nastavení minimální délky impulsu na výstupu.

TRPPTRC vykonává funkci hlavního vypnutí (Master trip).

VMHAI vykonává funkci měření kvality napájení, jedná se o měření harmonického obsahu fázového napětí.

VMMXU vykonává funkci měření třífázového napětí.

VSMSQI vykonává funkci měření složek napětí.

**Příloha č. 3: Detailní specifikace datového obsahu v
komunikaci protokolem IEC 61850.**

Detailní specifikace datového obsahu v komunikaci protokolem IEC 61850 - GOOSE

#	Popis signálu	Funkce signálu	Mapování v Control Builderu	Mapování v PCM600/IE600	Datové soubory	GOOSE Control Block	OPC alarmové stavy a události	Závažnost alarmových stavů a události	Poznámky
	Jistič CB1								
1	Pozice jističe - kvalita přenosu	state	-	CTRL.CBXCBR1.Pos.stVal	GOOSE_Ctrl	gcb_Ctrl	IIIEC61850_CBR_Pos	NA: 400, A: 600	NA: stavy 1 a 3; A: stavy 0 a 3
2	Pozice jističe - indikace	state	CBR_pos	CTRL.CBXCBR1.Pos.q	GOOSE_Ctrl	gcb_Ctrl	-	-	-
	Odpojovač DC1								
3	Pozice odpojovače - kvalita přenosu	state	-	CTRL.DCXSWI1.Pos.q	GOOSE_Ctrl	gcb_Ctrl	IIIEC61850_DC1_Pos	NA: 400, A: 600	NA: stavy 1 a 3; A: stavy 0 a 3
4	Pozice odpojovače - indikace	state	DC1_pos	CTRL.DCXSWI1.Pos.stVal	GOOSE_Ctrl	gcb_Ctrl	-	-	-
	Odpojovač DC2								
5	Pozice odpojovače - kvalita přenosu	state	-	CTRL.DCXSWI2.Pos.q	GOOSE_Ctrl	gcb_Ctrl	IIIEC61850_DC2_Pos	NA: 400, A: 600	NA: stavy 1 a 3; A: stavy 0 a 3
6	Pozice odpojovače - indikace	state	DC2_pos	CTRL.DCXSWI2.Pos.stVal	GOOSE_Ctrl	gcb_Ctrl	-	-	-
	Uzemňovač								
7	Pozice uzemňovače - kvalita přenosu	state	-	CTRL.ESSXSWI1.Pos.q	GOOSE_Ctrl	gcb_Ctrl	IIIEC61850_ES_Pos	NA: 400, A: 600	NA: stavy 1 a 3; A: stavy 0 a 3
8	Pozice uzemňovače - indikace	state	ESS_pos	CTRL.ESSXSWI1.Pos.stVal	GOOSE_Ctrl	gcb_Ctrl	-	-	-
	Ostatní ochrany								
9	Nadproudová ochrana - kvalita přenosu	state	-	LD0.PHIPTOC1.Op.q	GOOSE_Prot	gcb_Prot	-	-	-
10	Nadproudová ochrana - indikace	state	-	LD0.PHIPTOC1.Op.general	GOOSE_Prot	gcb_Prot	IIIEC61850_OC_Gen_state	NA: 400, A: 600	NA: stavy 1 a 3; A: stavy 0 a 6
11	Záblesková ochrana - kvalita přenosu	state	-	LD0.ARCPTRC21.Op.q	GOOSE_Prot	gcb_Prot	-	-	-
12	Záblesková ochrana - indikace	state	ARC21	LD0.ARCPTRC21.Op.general	GOOSE_Prot	gcb_Prot	IIIEC61850_ARC_state	NA: 400, A: 600	NA: stavy 1 a 3; A: stavy 0 a 6
	Měření fyzikálních veličin								
13	Fázový proud na fázi A	measurement	I_Pha_A	LD0.CMMXU1.A.phsA.cVal.mag.f	GOOSE_Meas	gcb_Meas	-	-	-
14	Fázový proud na fázi B	measurement	I_Pha_B	LD0.CMMXU1.A.phsB.cVal.mag.f	GOOSE_Meas	gcb_Meas	-	-	-
15	Fázový proud na fázi C	measurement	I_Pha_C	LD0.CMMXU1.A.phsC.cVal.mag.f	GOOSE_Meas	gcb_Meas	-	-	-
16	Fázový proud na fázi A - kvalita přenosu	measurement	-	LD0.CMMXU1.A.phsA.q	GOOSE_Meas	gcb_Meas	-	-	-
17	Fázový proud na fázi B - kvalita přenosu	measurement	-	LD0.CMMXU1.A.phsC.q	GOOSE_Meas	gcb_Meas	-	-	-
18	Fázový proud na fázi C - kvalita přenosu	measurement	-	LD0.CMMXU1.A.phsB.q	GOOSE_Meas	gcb_Meas	-	-	-
19	Sdružené napětí mezi fázemi A a C - kvalita přenosu	measurement	-	LD0.VMMXU1.PPV.phsCA.q	GOOSE_Meas	gcb_Meas	-	-	-
20	Sdružené napětí mezi fázemi A a C	measurement	U_Assoc_AC	LD0.VMMXU1.PPV.phsCA.cVal.mag.f	GOOSE_Meas	gcb_Meas	-	-	-
21	Sdružené napětí mezi fázemi B a C - kvalita přenosu	measurement	-	LD0.VMMXU1.PPV.phsBC.q	GOOSE_Meas	gcb_Meas	-	-	-
22	Sdružené napětí mezi fázemi B a C	measurement	U_Assoc_BC	LD0.VMMXU1.PPV.phsBC.cVal.mag.f	GOOSE_Meas	gcb_Meas	-	-	-
23	Sdružené napětí mezi fázemi A a B - kvalita přenosu	measurement	-	LD0.VMMXU1.PPV.phsAB.q	GOOSE_Meas	gcb_Meas	-	-	-
24	Sdružené napětí mezi fázemi A a B	measurement	U_Assoc_AB	LD0.VMMXU1.PPV.phsAB.cVal.mag.f	GOOSE_Meas	gcb_Meas	-	-	-
	Rídící příkazy								
25	Jistič CB1 otevřít	command	CB_open	LD0.LSPTRC1.Tr1.general	GOOSE_Cmds	new_gcb1	-	-	-
26	Jistič CB1 zavřít	command	CB_close	LD0.LSPTRC1.Tr2.general	GOOSE_Cmds	new_gcb1	-	-	-
27	LED 1 zapnout/vypnout	command	Out_LED1_on	LD0.LSPTRC1.Tr3.general	GOOSE_Cmds	new_gcb1	-	-	-
28	Odpojovač DC1 otevřít	command	DC1_open	LD0.LSPTRC1.Tr4.general	GOOSE_Cmds	new_gcb1	-	-	-
29	Odpojovač DC1 zavřít	command	DC1_close	LD0.LSPTRC1.Tr5.general	GOOSE_Cmds	new_gcb1	-	-	-
30	Odpojovač DC2 otevřít	command	DC2_open	LD0.LSPTRC1.Tr6.general	GOOSE_Cmds	new_gcb1	-	-	-
31	Odpojovač DC2 zavřít	command	DC2_close	LD0.LSPTRC1.Tr7.general	GOOSE_Cmds	new_gcb1	-	-	-
32	LED 2 zapnout/vypnout	command	Out_LED2_on	LD0.LSPTRC1.Tr8.general	GOOSE_Cmds	new_gcb1	-	-	-
33	LED 3 zapnout/vypnout	command	Out_LED3_on	LD0.LSPTRC1.Tr9.general	GOOSE_Cmds	new_gcb1	-	-	-
34	Jistič CB1 otevřít - kvalita přenosu	command	-	LD0.LSPTRC1.Tr1.q	GOOSE_Cmds	new_gcb1	-	-	-
35	Jistič CB1 zavřít - kvalita přenosu	command	-	LD0.LSPTRC1.Tr2.q	GOOSE_Cmds	new_gcb1	-	-	-
36	LED 1 zapnout/vypnout - kvalita přenosu	command	-	LD0.LSPTRC1.Tr3.q	GOOSE_Cmds	new_gcb1	-	-	-
37	Odpojovač DC1 otevřít - kvalita přenosu	command	-	LD0.LSPTRC1.Tr4.q	GOOSE_Cmds	new_gcb1	-	-	-
38	Odpojovač DC1 zavřít - kvalita přenosu	command	-	LD0.LSPTRC1.Tr5.q	GOOSE_Cmds	new_gcb1	-	-	-
39	Odpojovač DC2 otevřít - kvalita přenosu	command	-	LD0.LSPTRC1.Tr6.q	GOOSE_Cmds	new_gcb1	-	-	-
40	Odpojovač DC2 zavřít - kvalita přenosu	command	-	LD0.LSPTRC1.Tr7.q	GOOSE_Cmds	new_gcb1	-	-	-
41	LED 2 zapnout/vypnout - kvalita přenosu	command	-	LD0.LSPTRC1.Tr8.q	GOOSE_Cmds	new_gcb1	-	-	-
42	LED 3 zapnout/vypnout - kvalita přenosu	command	-	LD0.LSPTRC1.Tr9.q	GOOSE_Cmds	new_gcb1	-	-	-

#	Popis signálu	Funkce signálu	Mapování v PCM600/IET600	Mapování v 800xA	Datasey v IET	Report Control Block v IET	OPC alarmové stavy a události	Závažnost alarmových stavů a události
Jistič CB1								
1	Pozice jističe - kvalita přenosu	state	CTRL.CBCSWI1.Pos.q	-	MMS_Pos	rcb_Pos	IEC61850_CBR_Pos	NA: 400, A: 600
2	Pozice jističe - událost eventu	state	CTRL.CBCSWI1.Pos.stSeld	-	MMS_Pos	rcb_Pos	-	-
3	Pozice jističe - indikace	state	CTRL.CBCSWI1.Pos.stVal	CSWI_1.Pos.stVal	MMS_Pos	rcb_Pos	-	-
4	Pozice jističe - čas přenosu	state	CTRL.CBCSWI1.Pos.t	-	MMS_Pos	rcb_Pos	-	-
Odpojovač DC1								
5	Pozice odpojovače - kvalita přenosu	state	CTRL.DCCSWI1.Pos.q	-	MMS_Pos	rcb_Pos	IEC61850_DC1_Pos	NA: 400, A: 600
6	Pozice odpojovače - událost eventu	state	CTRL.DCCSWI1.Pos.stSeld	-	MMS_Pos	rcb_Pos	-	-
7	Pozice odpojovače - indikace	state	CTRL.DCCSWI1.Pos.stVal	CSWI_2.Pos.stVal	MMS_Pos	rcb_Pos	-	-
8	Pozice odpojovače - čas přenosu	state	CTRL.DCCSWI1.Pos.t	-	MMS_Pos	rcb_Pos	-	-
Odpojovač DC2								
9	Pozice odpojovače - kvalita přenosu	state	CTRL.DCCSWI2.Pos.q	-	MMS_Pos	rcb_Pos	IEC61850_DC2_Pos	NA: 400, A: 600
10	Pozice odpojovače - událost eventu	state	CTRL.DCCSWI2.Pos.stSeld	-	MMS_Pos	rcb_Pos	-	-
11	Pozice odpojovače - indikace	state	CTRL.DCCSWI2.Pos.stVal	CSWI_3.Pos.stVal	MMS_Pos	rcb_Pos	-	-
12	Pozice odpojovače - čas přenosu	state	CTRL.DCCSWI2.Pos.t	-	MMS_Pos	rcb_Pos	-	-
Uzemňovač ES1								
13	Pozice uzemňovače - kvalita přenosu	state	CTRL.ESCSWI1.Pos.q	-	MMS_Pos	rcb_Pos	IEC61850_ES_Pos	NA: 400, A: 600
14	Pozice uzemňovače - událost eventu	state	CTRL.ESCSWI1.Pos.stSeld	-	MMS_Pos	rcb_Pos	-	-
15	Pozice uzemňovače - indikace	state	CTRL.ESCSWI1.Pos.stVal	CSWI_4.Pos.stVal	MMS_Pos	rcb_Pos	-	-
16	Pozice uzemňovače - čas přenosu	state	CTRL.ESCSWI1.Pos.t	-	MMS_Pos	rcb_Pos	-	-
Záznamy z alarmových stavů a událostí								
17	Nahrávání záznamu - potvrzení o záznamu	trip	DR.RDRE1.RcdMade	-	MMS_DR	rcb_DR	-	-
18	Nahrávání záznamu - start	trip	DR.RDRE1.RcdStr	-	MMS_DR	rcb_DR	-	-
19	Nahrávání záznamu - stop	trip	DR.RDRE1.ERcdStored	-	MMS_DR	rcb_DR	-	-
20	Nahrávání záznamu - smazat	trip	DR.RDRE1.ERcdDelete	-	MMS_DR	rcb_DR	-	-
21	Nahrávání záznamu - plná paměť	trip	DR.RDRE1.EMemFull	-	MMS_DR	rcb_DR	-	-
22	Nahrávání záznamu - přepsat záznam	trip	DR.RDRE1.EOWRcd	-	MMS_DR	rcb_DR	-	-
23	Nahrávání záznamu - periodický trigger	trip	DR.RDRE1.EPerTrg	-	MMS_DR	rcb_DR	-	-
24	Nahrávání záznamu - manuální trigger	trip	DR.RDRE1.EManTrg	-	MMS_DR	rcb_DR	-	-
Měření fyzikálních veličin								
27	Fázové proudy (včetně času a kvality přenosu)	measurement	LD0.CMMXU1.A	MMXU_1.A	MMS_Meas	rcb_Meas	-	-
29	Fázová napětí (včetně času a kvality přenosu)	measurement	LD0.VMMXU1.PhV	MMXU_6.PhV	MMS_Meas	rcb_Meas	-	-
30	Sdružená napětí (včetně času a kvality přenosu)	measurement	LD0.VMMXU1.PPV	MMXU_6.PPV	MMS_Meas	rcb_Meas	-	-
34	Činný výkon (včetně času a kvality přenosu)	measurement	LD0.PEMMXU1.TotW	MMXU_3.TotW	MMS_Meas	rcb_Meas	-	-
35	Jalový výkon (včetně času a kvality přenosu)	measurement	LD0.PEMMXU1.TotVA	MMXU_3.TotVA	MMS_Meas	rcb_Meas	-	-
36	Sdružený výkon (včetně času a kvality přenosu)	measurement	LD0.PEMMXU1.TotVA	MMXU_3.TotVA	MMS_Meas	rcb_Meas	-	-
37	Účinník (včetně času a kvality přenosu)	measurement	LD0.PEMMXU1.TotPF	MMXU_3.TotPF	MMS_Meas	rcb_Meas	-	-
38	Frekvence (včetně času a kvality přenosu)	measurement	LD0.FMMXU1.Hz	MMXU_2.Hz	MMS_Meas	rcb_Meas	-	-
39	Reziduální proud (včetně času a kvality přenosu)	measurement	LD0.RESCMMXU1.A	MMXU_4.A.res.cVal.mag	MMS_Meas	rcb_Meas	-	-
40	Reziduální napětí (včetně času a kvality přenosu)	measurement	LD0.RESVMMXU1.A	MMXU_5.PhV.res.cVal.mag	MMS_Meas	rcb_Meas	-	-
Ostatní ochrany								
41	Nadpětová ochrana celková - indikace	state	LD0.PHPTOV1.Op.general	-	MMS_ARC	rcb_ARC	IEC61850_OV_phsGen_State	NA: 400, A: 600
42	Nadpětová ochrana fáze A - indikace	state	LD0.PHPTOV1.Op.phsA	-	MMS_ARC	rcb_ARC	IEC61850_OV_phsA_State	NA: 400, A: 600
43	Nadpětová ochrana fáze B - indikace	state	LD0.PHPTOV1.Op.phsB	-	MMS_ARC	rcb_ARC	IEC61850_OV_phsB_State	NA: 400, A: 600
44	Nadpětová ochrana fáze C - indikace	state	LD0.PHPTOV1.Op.phsC	-	MMS_ARC	rcb_ARC	IEC61850_OV_phsC_State	NA: 400, A: 600
45	Nadpětová ochrana - kvalita přenosu	state	LD0.PHPTOV1.Op.q	-	MMS_ARC	rcb_ARC	-	-
46	Nadpětová ochrana - čas přenosu	state	LD0.PHPTOV1.Op.t	-	MMS_ARC	rcb_ARC	-	-
50	Nadproudová ochrana - indikace	state	LD0.PHIPTOC1.Op.general	-	MMS_ARC	rcb_ARC	IEC61850_OC_Gen_State	NA: 400, A: 600
51	Nadproudová ochrana - kvalita přenosu	state	LD0.PHIPTOC1.Op.q	-	MMS_ARC	rcb_ARC	-	-
52	Záblesková ochrana - indikace	state	LD0.ARCPTRC21.Op.general	-	MMS_ARC	rcb_ARC	IEC61850_ARC_Gen_State	NA: 400, A: 600
53	Záblesková ochrana - kvalita přenosu	state	LD0.ARCPTRC21.Op.q	-	MMS_ARC	rcb_ARC	-	-

Příloha č. 4: Historický trend s naměřenými daty ve
vývojovém prostředí 800xA.

